

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 - Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Impulsní chlazení vstřikovacích forem

Pulsed cooling injection moulds

Martin Holubec

KSP - TP -774

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld - TU v Liberci

Konzultant diplomové práce:

Ing. Tomáš Radosta – Grupo Antolin
Bohemia Turnov

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	93
Počet tabulek	8
Počet příloh	0
Počet obrázků	91

Datum: 25.5.2007

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 - Strojní inženýrství
Diplomant: Martin Holubec
Téma práce: Impulsní chlazení vstřikovacích forem
Pulsed cooling injection moulds

Číslo DP: KSP - TP - 774
Vedoucí DP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld - TU v Liberci
Konzultant: Ing. Tomáš Radosta – Grupo Antolin Bohemia Turnov

Abstrakt:

Diplomová práce se zaměřuje na hodnocení a efektivnosti impulsního chlazení ve srovnání s kontinuální temperací při technologii vstřikování plastických hmot. V teoretické části je popsána technologie vstřikování plastů, využití různých druhů temperace formy, jak při temperaci kontinuální, tak i temperaci impulsní. V experimentální části je popsán průběh a výsledky naměřených teplotních polí pomocí termovizního systému. V závěru je zhodnocení a porovnání teplotního rozdílu při kontinuálním a impulsním chlazení.

Abstrakt:

The Diploma thesis is about rating and efficiency of pulse cooling in comparison with continual temperancy in case of technology of injection of plastics. In the theoretical part the Technology of injection of plastics is described, utilization of variable forms of the form temperancy, both in continual temperancy and pulse temperancy. In the experimental part is described the process and results of measured fields of temperature with the help of termovision system. At the end is the analysis and comparison of temperature difference in cases of continual and pulse cooling.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25.května 2007

.....

Martin Holubec
Aloisina Výšina 643
46015 Liberec

Poděkování:

Na prvním místě bych chtěl poděkovat otci za plnou podporu během mého studia.

Děkuji všem členům oddělení tváření kovů a plastů, především pak Doc. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za jeho cenné rady a připomínky, které mi poskytl při psaní této diplomové práce.

Poděkování patří v neposlední řadě firmě Grupo Antolin Bohemia Turnov, která mi při vypracování diplomové práce vycházela vstříc a umožnila mi uskutečnit měření.

Obsah diplomové práce

	Seznam použitých symbolů a zkratk	8
1	Úvod	10
2	Teoretická část	12
2.1	Základní princip vstřikovací technologie	12
2.1.1	Vstřikovací cyklus	12
2.1.2	Stroje a nástroje na vstřikování	13
2.2	Termodynamika a hydrodynamika temperačního systému formy	16
2.3	Vliv teploty formy na kvalitu výstřiku	23
2.4	Temperační systém	24
2.4.1	Temperace vstřikovacích forem	25
2.4.2	Kontinuální temperace	25
2.4.3	Impulsní temperace	27
2.4.3.1	Nízká teplota formy 5-45 °C	28
2.4.3.2	Střední teplota formy 30-130 °C	32
2.4.3.3	Vysoká teplota formy 100-300 °C	36
2.4.4	Alternativní způsob temperace	38
2.5	Ztráta tlaku a průtoku v temperačním systému	40
2.6	Úpravy temperačních systému a forem	43
2.7	Centrální temperační systém a jeho hlavní části	47
2.7.1	Hlavní centrální chladicí jednotka	47
2.7.2	Průtokoměry	48
2.7.3	Rozvodný systém potrubí	52
2.7.4	Ventily	53
2.7.5	Přehřívací jednotka	56
2.7.6	Řídící jednotka	57
2.8	Popis a možnosti měření teploty	61
2.8.1	Dotykové snímače teploty	61
2.8.2	Bezdotykové snímače teploty	62
3	Experimentální část	64
3.1	Experimentální měření teplotních polí	64
3.2	Vybraný díl a materiál výrobku	64
3.3	Vstřikovací stroj	65
3.4	Vstřikovací forma	67

3.5	Infračervené snímání teploty	71
3.6	Průběh měření	71
3.7	Zpracování výsledků měření	73
3.7.1	Temperování temperační jednotkou	73
3.7.2	Temperování impulsním chlazením	78
3.8	Shrnutí výsledků měření	87
4	Závěr	89
5	Literatura	91

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky

PP

Polypropylen

Symboly

Značka	Jednotka	Popis veličiny
p_i	Pa	Vnitřní tlak
p	Pa	Tlak
p_z	Pa	Zbytkový tlak
S_K	m	Pohyb šneku
S_N	m	Pohyb nástroje
\dot{Q}_F	W	Tepelný tok mezi plastem a taveninou
\dot{Q}_{TM}	W	Tepelný tok mezi formou a temperačním systémem
\dot{Q}_H	W	Tepelný tok mezi rozváděcím blokem vtokového systému
\dot{Q}_K	W	Tepelný tok předaný do okolí prouděním
\dot{Q}_L	W	Tepelný tok předaný do okolí vedením
\dot{Q}_{STR}	W	Tepelný tok předaný do okolí sáláním
\dot{Q}_U	W	Celkový tepelný tok předaný do okolí
τ	Pa	Tečné napětí
η	Pa.s	Dynamická viskozita
ν	m ² /s	Kinematická viskozita
ρ	kg/m ³	Hustota
Re	-	Reynoldsovo číslo
v_s	m/s	Střední rychlost
d	m	Průměr potrubí
A_1, A_2	m ²	Plocha průřezu potrubí
e_r, e_z	J/kg	Ztrátová měrná energie
h	m	Výška
h_z	m	Ztrátová výška

ζ	-	Ztrátový součinitel
ε (k/d)	-	Absolutní drsnost stěny
λ	-	Součinitel tření
Δp	Pa	Rozdíl tlaku
Δp_c	Pa	Celková tlaková ztráta v temperovacích kanálech
Δp_1	Pa	Tlaková ztráta v temperovacím kanálu
Δp_2	Pa	Tlaková ztráta v ostrém rohu 90°
Δp_3	Pa	Tlaková ztráta v kolenu 90°
Δp_s	Pa	Tlaková ztráta ve spojení
l	m	Celková délka temperovacího kanálu ve formě
n_2	-	Počet ostrých rohů v kanálu
n_3	-	Počet kolen v kanálu
m	kg/s	Hmotnostní průtok temperovacího media
α	W/m ² .K	Součinitel přestupu tepla
T_g	°C	Teplota zesklnění
T_m	°C	Teplota tání

1. ÚVOD

Hlavním důvodem rozvoje plastických hmot je vedle jejich výhodných vlastností především produktivní způsob zpracování. V současné době existuje velké množství zpracovatelských technologií a mezi nejznámější a nejrozšířenější způsob zpracování plastických hmot patří vstřikování. Touto technologií lze vyrábět výrobky, a to od miniaturních cca 1g, až po rozměrné výrobky o hmotnosti přes 6 kg. Plastické hmoty jsou materiály, jejichž podstatu tvoří makromolekulární látky (buď přírodní polymery, nebo jejich deriváty) nebo dnes nejvíce rozšířené syntetické polymery, např. polystyren, polyetylén a polyamid. Jejich základní vlastnosti jsou určeny chemickou stavbou a vzhledem ke kombinačním možnostem v organické chemii jsou možnosti vývoje nových typů téměř neomezené.

V současné době narůstající poptávka na trhu po levnějším a kvalitnějším zboží z plastu, nutí firmy hledat nové technologie pro zjednodušení a zlevnění výrobku, který je pak na trhu konkurence schopný. Na plastikářský výstřik je kladen nárok na výrobu rozměrově velmi přesných, rozmanitých a členitých výrobků z náročných konstrukčních materiálů. Z důvodů dodržení vysoké kvality a přesnosti výrobků vystupuje do popředí požadavek temperace vstřikovacích forem. Při temperaci termoplastů je teplo hmotě odváděno, zatímco u reaktoplastů a elastomerů je nutné pro zajištění potřebné chemické reakce nástroj vyhřívat. Proto temperační médium nemusí jen teplo z formy odvádět, ale naopak v případě, kdy je požadována vyšší teplota formy, může se teplo dodávat. Odvádění tepla z formy by s ohledem na vlastnosti výstřiku mělo probíhat ve všech místech vstřikovací formy rovnoměrně, stejnou rychlostí. To však závisí na provedení temperačního systému a na rozložení teplotních polí ve formě. V ideálním případě, kterého v praxi nelze dosáhnout, by měl mít výstřik v průběhu ochlazování, v každém časovém okamžiku a v každém místě stejnou teplotu.

Hlavním cílem této diplomové práce je zjistit, resp. porovnat možnost zvýšení odvodu tepla z tvarové dutiny vstřikovací formy pomocí klasické temperace (kontinuální) nebo impulsní temperace a získat při těchto způsobech temperace představu o rozložení teplotních polí v nástroji během procesu vstřikování.

Diplomová práce je průběžně rozdělena do třech hlavních částí. V první teoretické části je popsána technologie vstřikování, centrální temperační systém s používanými komponenty pro temperaci a temperací vstřikovacích forem

kontinuálně a impulsně. Protože temperace forem souvisí s přenosem tepla ve vstřikovací formě, je zde naznačena problematika tepelných toků v nástroji a hydrodynamické vlastnosti forem a jeho řešení.

Druhou částí diplomové práce je část experimentální. Ta řeší na vybrané vstřikovací formě metodou měření teplotních polí na výstřiku, po vyndání výstřiku z formy při konkrétních vstřikovacích podmínkách při daném způsobu temperace. Pro měření teplotních polí v nástroji a výrobku je metoda měření teplotních polí pomocí termovize, která je nejpřesnější, tak byla vybrána a výsledky byly touto metodou zpracovány.

V třetí experimentální části diplomové práce je provedeno jak porovnání změřených hodnot teplotních polí při kontinuální temperaci, tak impulsní temperaci na dané vstřikovací formě.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Základní princip vstřikovací technologie /1/, /2/

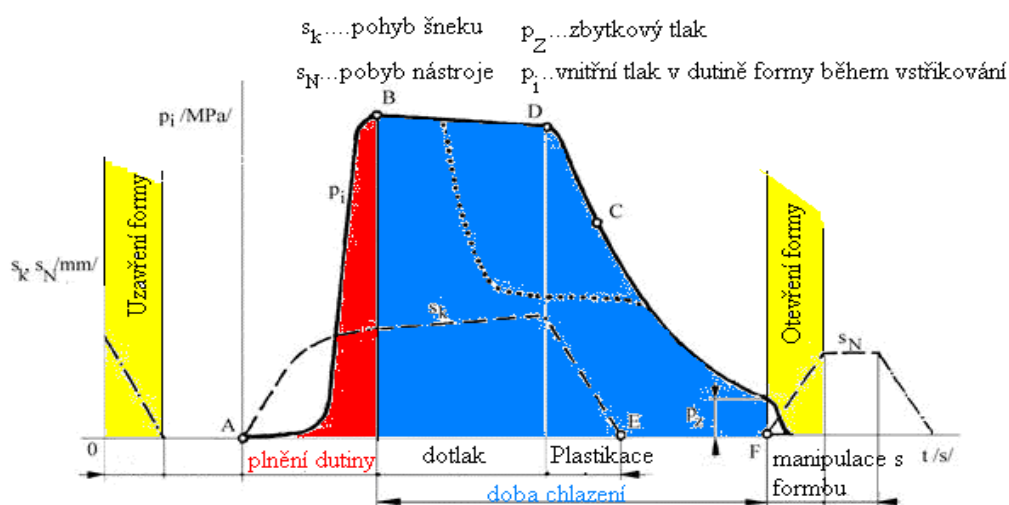
Vstřikováním lze zpracovat téměř skoro všechny druhy plastů, zejména termoplastů. Vstřikování je děj cyklický, kde cyklus tvoří sled přesně daných úkonů, charakterizovaných jednak stejnými hodnotami termodynamických veličin vstřikovaného plastu a stejnou dobou trvání jednotlivých úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází cyklem. Princip vstřikování je způsob tváření plastických hmot, při kterém se zpracováváný materiál v roztaveném stavu vstřikuje do tvarové dutiny formy (jejíž teplota je mnohem nižší než teplota zpracováváného termoplastu), kde se pod tlakem ochladí a nechá ztuhnout. Vstřikovací stroj umožňuje roztavení plastické hmoty a její homogenizaci, dále vstříknutí taveniny pod tlakem do uzavřené formy a zajištění proti otevření silou, která musí být větší než síla vyvolána tlakem v dutině formy. Dutina formy je temperována, ochlazený materiál ve formě ztuhne a výstřik po otevření formy je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

2.1.1 Vstřikovací cyklus /2/

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů, charakterizovaných jednak stejnými hodnotami termodynamických veličin vstřikovaného plastu, jednak stejnou dobou trvání jednotlivých úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. Zavření formy, přisunutí pohyblivé části k pevné části formy a uzamknutí. Přisunutí k formě tavící komory a pohybem šneku začíná vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se, posouvá se a plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty. Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku a tato doba je doba chlazení. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a při klesajícím tlaku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem a aby se na výstřiku netvořily staženiny, je nutno kompenzovat zmenšování objemu dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy. Může mít

maximální tlak nebo se po několika sekundách snižovat. Po dotlaku začíná doba plastikace nové dávky plastu. Otáčením šneku se nabírá granulovaná hmota a začíná postupovat zpět a překonávat protitlak plastikace a prohnětení roztaveného plastu a cyklus se znovu opakuje.

Vstřikovací cyklus je posuzován z hlediska zpracovávaného plastu, lze ho vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase (vnitřní tlak p_i). Vnější tlak, označovaný p , je tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku. Vstřikovací cyklus je znázorněn na obr. 2.1.

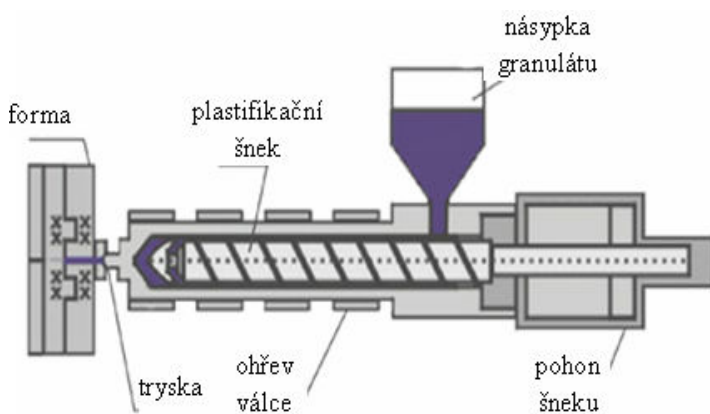


Obr. 2.1: Znázorněn průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování. /2/

2.1.2 Stroje a nástroje na vstřikování /1/, /2/, /3/

S rozvojem využití plastů ve společnosti vzrůstají nároky na technologie umožňující zpracování plastů. Jednou z těchto technologií je i vstřikování

termoplastů, kdy se roztavená hmota ze vstřikovacího stroje (viz. obr. 2.2) se vstřikuje do tvarové dutiny formy – vstřikovacího nástroje.



Obr. 2.2: Schéma vstřikovacího stroje s formou. /3/

Základní části vstřikovacích strojů jsou:

1. Vstřikovací jednotka je tvořena násypkou, dávkovacím zařízením, plastifikační a vstřikovací komorou (válec) s pístem nebo šnekem, tryskou, topením a regulací.

Vstřikovací jednotka zajišťuje dvě hlavní úlohy:

- a) přeměnit granulát dávkovaný dle potřeby z násypky stroje na homogenní taveninu určité viskozity
- b) velkou rychlostí pod vysokým tlakem dopravit (vstříknout) taveninu do uzavřené formy

2. Uzavírací jednotka je tvořena uzavíracím mechanismem /kloub nebo píst/, přidržovacím mechanismem a formou

Mezi úkoly uzavírací jednotky patří:

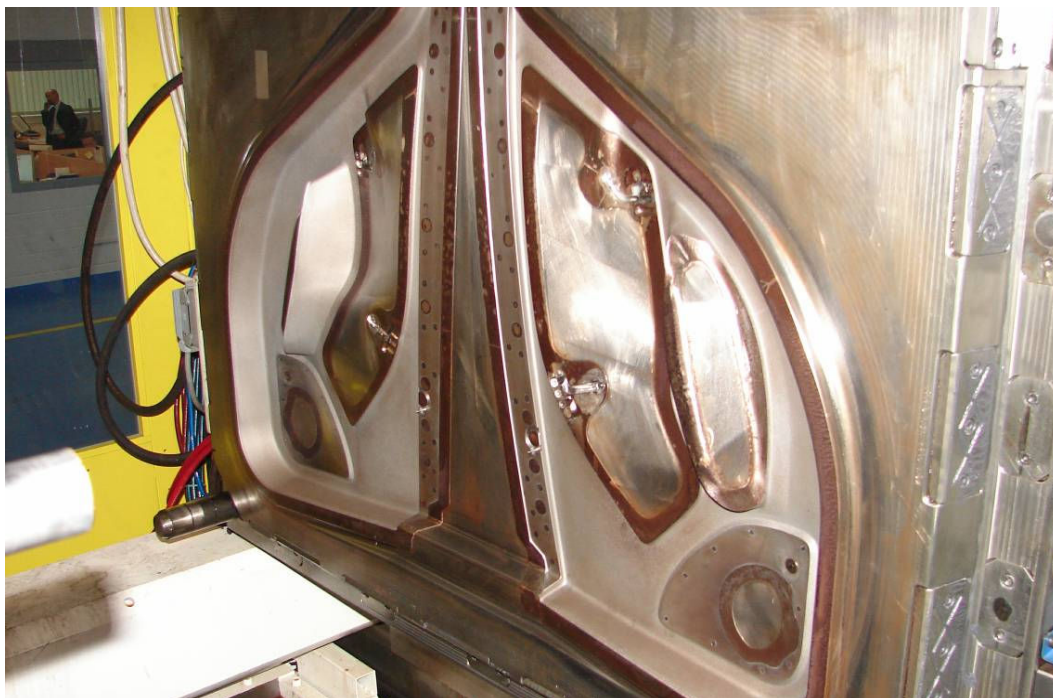
- a) otevírat a uzavírat formu
- b) zajistit zavřenou formu takovou silou, aby se při vstřiku a dotlaku neotevřela působením tlaku taveniny na stěny tvarové dutiny formy

3. Příslušenství vstřikovacího stroje obsahuje: zdroj energie (tlak pro vyvození vstřikovací, uzavírací a přidržovací síly), temperační zařízení forem a regulační a ovládací prvky.

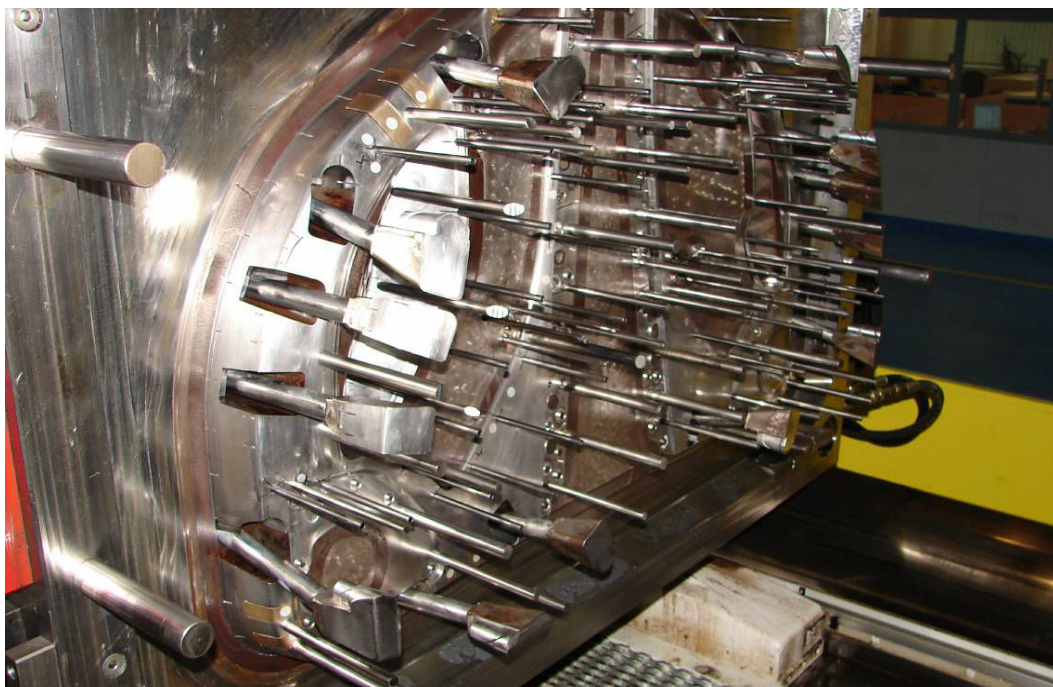
Podle vzájemné polohy vstřikovací a uzavírací jednotky jsou dvě zásadní možnosti: horizontální a vertikální. Stroje horizontální mají osu vstřikovací jednotky v horizontální poloze kolmo na dělicí rovinu formy.

Vstřikovací nástroje pro vstřikování termoplastů od nejjednodušších až po nejsložitější, od nejmenších až po ty největší, musí splňovat pro svůj správný chod několik základních funkcí. Tvarová dutina musí přesně odpovídat požadovanému tvaru výlisku, forma musí zajistit co nejrychlejší temperaci výlisku na požadovanou teplotu podle použité technologie zpracování daného plastu a v neposlední řadě umožnit správné a rychlé vyjmutí výlisku z dutiny formy.

Příklad vstřikovacího nástroje-formy je znázorněn na obr. 2.3 (tvárnice) a na obr. 2.4 (tvárník):



Obr. 2.3: Tvárnice od firmy WFS-WERKZEUG UND FORMENBAU SCHMIDT GmbH.



Obr. 2.4: Tvárník od firmy WFS-WERKZEUG UND FORMENBAU SCHMIDT GmbH.

Formy se skládají zpravidla ze dvou hlavních částí, z nichž jedna je upnuta na pevné straně vstřikovacího stroje a druhá na jeho pohyblivé straně. Část upnutá na pevné straně se obvykle nazývá tvárnice a její hlavní funkcí je zajištění přívodu taveniny do dutiny formy, a to pomocí vtokového systému. Část upnutá na pohyblivé straně vstřikovacího stroje se většinou nazývá tvárník a její hlavní funkcí je zajištění správného vysunutí výlisku z dutiny formy pomocí vyhazovacího systému formy. Obě části lisovacího nástroje pak současně zajišťují správnou teplotu výlisku před jeho vyjmutím z formy, a to pomocí systému temperačních rozvodů v každé části formy.

Každá forma je složena z několika desítek až stovek dílů. Pro správné odformování výlisků využívá konstruktér formy často i několik pohyblivých čelistí, jejichž pohyb je ovládán lisem při vlastním otevírání formy nebo přidavnými, např. hydraulickými systémy. Vysunutí výlisku z dutiny formy pak zajišťuje soustava vyhazovačů upevněných ve vyhazovací desce, která je po otevření formy ovládána mechanismem vstřikovacího lisu. Dalšími částmi forem jsou pak rámy nebo upínací a opěrné desky včetně různého příslušenství, které mimo vlastní správné funkce formy umožňují připevnění formy do lisu a připojení formy k jednotlivým médiím.

2.2 Termodynamika a hydrodynamika temperačního systému formy /4/, /5/, /6/, /10/

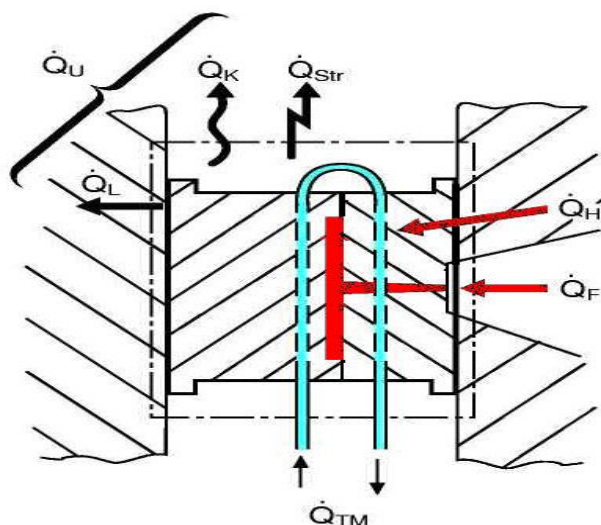
Z termodynamického hlediska je vstřikovací forma složitý termodynamický systém. Tepelné poměry ve vstřikovací formě souvisí s přestupem tepla, tedy schopnost vstřikovací formy přijmout teplo z roztavené taveniny a předat je do temperačního systému. Proces je rozdělen do několika fází, které během cyklu probíhají současně. Přestup tepla z plastu do vstřikovací formy, nadále přestup tepla z formy do temperačního systému a současně z formy do okolí a rámu stroje. Při přestupu tepla dochází k výměně tepla pomocí vedení, proudění, záření v kombinaci s vedením a s prouděním.

Vlastní přestup tepla je závislý na zpracovatelských podmínkách plastu a na materiálu formy, na tloušťce stěny, ale také na ploše styku taveniny plastu s formou.

Tepelná bilance je sestavena z tepelných toků, které do formy vstupují, a zároveň tepelných toků z formy vystupujících. Při stanovení těchto tepelných toků ve vstřikovací formě je třeba vycházet z některých předpokladů a zjednodušení:

- vstřikovací forma tvoří uzavřený systém v tepelné rovnováze
- tepelné toky v nástroji a teploty částí formy jsou časově konstantní
- kolísání teploty povrchu dutiny formy během vstřikovacího cyklu se zanedbává
- za teplotu povrchu dutiny se považuje střední hodnota ze vstupní a výstupní teploty

Tepelná bilance stanovující, jaké množství tepla ze vstřikovací formy musí být odvedeno temperačním systémem, je znázorněna na obr. 2.5.



Obr. 2.5: Tepelná bilance formy stanovuje teplo přijaté a odvedené. /10/

Kde: \dot{Q}_Ftepelný tok mezi plastem a taveninou [W]

\dot{Q}_{TM}tepelný tok mezi formou a temperačním systémem [W]

\dot{Q}_Htepelný tok mezi rozváděcím blokem vtokového systému (jen u forem s vyhřívanou vtokovou soustavou, jinak je $\dot{Q}_H=0$) a formou [W]

\dot{Q}_Ktepelný tok předaný do okolí prouděním (konvence) [W]

\dot{Q}_Ltepelný tok předaný do okolí vedením (kondukce) [W]

\dot{Q}_{STR}tepelný tok předaný do okolí sáláním (radiace) [W]

\dot{Q}_Ucelkový tepelný tok předaný do okolí [W]

Při vstřikování plastů se výstřik ze vstřikovací formy vždy ochlazuje, \dot{Q}_F je tedy jen kladné. Rovněž \dot{Q}_H je vždy kladné, protože teplota rozváděcího bloku je vyšší než teplota vstřikovací formy. Tepelný tok \dot{Q}_U , vyměňovaný s okolím, může být v závislosti na teplotní hladině vstřikovací formy buď záporný nebo kladný, to platí i pro \dot{Q}_{TM} .

$$\dot{Q}_{TM} = \dot{Q}_F + \dot{Q}_H - \underbrace{(\dot{Q}_K + \dot{Q}_{Str} + \dot{Q}_L)}_{\dot{Q}_U} \quad (2.1)$$

Celkový tepelný tok \dot{Q}_U je součtem dílčích tepelných toků \dot{Q}_K , \dot{Q}_{STR} a \dot{Q}_L . Tyto tepelné toky, které přejdou ze vstřikovací formy do okolí jsou: tepelný tok vedením (kondukcí- popisuje Fourierův zákon), prouděním (konvekcí-vyjadřuje Newtonův zákon) a sáláním (radiací, zářením-vysvětluje Stefan-Boltzmannův zákon).

Pokud by měla být vypočtena tepelná bilance formy co nejpřesněji, bylo by třeba mnoho výpočtových rovnic, grafů a tabulek, kde jsou potřebná data pro výpočet: vlastnosti plastů (tepelná vodivost, teplotní roztažnost, měrná kapacita, teplota taveniny atd.), vlastnosti formy (použitý konstrukční materiál, uspořádání vyhazovacího, temperovacího a vstřikovacího systému), vlastnosti temperovacího média v závislosti na fyzikálních parametrech atd.

Hydrodynamické hledisko popisující temperační systém formy. Při proudění skutečné kapaliny se projevuje vliv viskozity. Viskozitou se rozumí vazkost (vnitřní tření) tekutiny, která je důsledkem soudržnosti mezi jednotlivými částicemi. Je definována jako poměr místního tečného napětí τ a místního gradientu rychlosti D :

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (2.2)$$

Kde: ηdynamická viskozita [Pa.s]

τtečné napětí [Pa]

D gradient rychlosti [s^{-1}]

Takto definovaná viskozita se označuje jako dynamická (η). Vedle ní se používá ještě viskozita kinematická (ν), která je:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.3)$$

Kde: ρ hustota kapaliny [kg/m^3]

ν kinematická viskozita [m^2/s].

Dynamická viskozita kapalin s rostoucí teplotou zpravidla klesá.

Hydrodynamické veličiny pak závisejí na tom, jaký režim proudění se vyvine. Hranicí proudění v potrubí tvoří experimentálně určené kritické Reynoldsovo číslo Re , definováno vztahem

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu} \quad (2.4)$$

Kde: v_s střední rychlost v potrubí [m/s]

d průměr potrubí [m]

Re Reynoldsovo číslo [-]

Kritická hodnota Re_{krit} pro potrubí kruhového průřezu je 2320. Při $Re \leq Re_{krit}$ se v potrubí vyvine uspořádané laminární proudění, pohyb se děje ve vrstvách a částice tekutiny se nepohybují napříč průřezem. Je-li $Re \geq Re_{krit}$, proudění je turbulentní, dochází k intenzivnímu mísení částic následkem jejich podružných (turbulentních) pohybů ve všech směrech.

Pro výpočet proudění skutečné kapaliny používaného pro popis:

1. Rovnici kontinuity vyjadřující zákon zachování hmotnosti ve tvaru

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 = \text{konst} \quad (2.5)$$

Kde: $\rho_{1,2}$ hustota kapaliny [kg/m^3].

$A_{1,2}$ plocha průřezu potrubí [m^2]

$v_{1,2}$ rychlost proudící kapaliny [m/s].

2. Rovnice Bernoulliho vyjadřující zákon zachování energie ve tvaru

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{tlaková} & & \text{kinetická} & & \text{polohová} & & \text{měrná energie} \\
 \text{energie} & & \text{energie} & & \text{energie} & & \text{(ztrátová)} \\
 \swarrow & & \downarrow & & \swarrow & & \downarrow \\
 \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 & = & \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2 + e_r
 \end{array} \quad (2.6)$$

Kde: $p_{1,2}$tlak kapaliny [Pa]

$h_{1,2}$výška [m]

gtíhové zrychlení [m/s^2]

e_r , (e_z).....ztrátová měrná energie [J/kg]

Ztrátová energie e_r (e_z) zmenšuje mechanickou energii kapaliny (tlakovou + kinetickou + polohovou) a mění se v teplo, lze ji vyjádřit pomocí kinetické energie, tlakové, popřípadě potenciální energie.

$$e_z = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{p_z}{\rho} = g \cdot h_z \quad (2.7)$$

Kde: ζ ztrátový součinitel [-]

p_z tlaková ztráta [Pa]

h_z ztrátová výška [m].

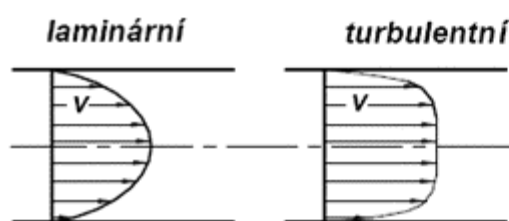
Z fyzikálního hlediska lze hydraulické odpory (ztráty) rozdělit na ztráty třením a místní ztráty.

Třecí ztráty v potrubí vznikají třením částic proudící tekutiny při rozdílných rychlostech a třením tekutiny o stěny zařízení. Rychlost na průtočném průřezu je nerovnoměrná a v jednotlivých vrstvách a na stěnách vznikají tečné síly a napětí od viskozity.

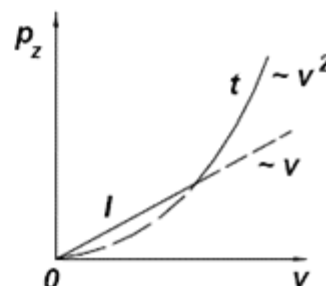
Místní odpor neboli ztráty vznikají při změně charakteru proudu, tj. velikostí rychlosti, směru proudu nebo obojímu. Velikost místní ztráty závisí na typu, tvaru, konstrukci daného úseku, drsnosti, atd. K místním ztrátám dochází ve všech tvarovkách (kolena, odbočky, spojky, difuzory), armaturách (ventily, kohouty, klapky), měřících zařízeních (clony, dýzy, vodoměry) a další zařízení (chladiče, čističe, filtry).

Velikost hydraulických odporů závisí na režimu proudění v potrubí, která se vypočítávají z empirických a poloempirických vztahů, nebo experimentálně určených hodnot, které se odečítají z diagramů a nomogramů, které jsou součástí literatury zabývající se návrhem potrubního vedení, a ne součástí této diplomové práce.

Oba druhy proudění laminární a turbulentní se liší jak rychlostním profilem, tak i velikostí hydraulických ztrát. U laminárního proudění v potrubí je rychlostní profil rotační paraboloid. U turbulentního proudění se rychlosti částic vyrovnávají intenzivním přemísťováním spojeným s výměnou kinetické energie. Rychlostní profil turbulentního proudu v potrubí se proto více podobá obdélníku, a to tím více, čím větší je turbulence, tj. čím větší je Re číslo (viz. obr. 2.6).



Obr. 2.6: Rychlostní profil v potrubí. /5/



Obr. 2.7: Závislost $p_z=f(v)$. /5/

U laminárního proudění je hydraulický odpor proti pohybu lineárně závislý na rychlosti, u turbulentního proudění je závislý na druhé mocnině rychlosti zobrazený na obr. 2.7.

Porovnání závislostí pro tlakovou ztrátu při vyvinutém laminárním a turbulentním proudění v potrubí je ukázáno v tab. 2.1.

Tab. 2.1: Porovnání závislostí pro tlakovou ztrátu při laminárním a turbulentním proudění v potrubí. /6/

Proměnná	Proudění	
	laminární	turbulentní
rychlost	$v_{stř}$	$v_{stř}^2$
hustota	nezávisí	ρ
viskozita	η	nezávisí
Potrubí:		
průměr	$1/d^2$	$1/d$
délka	l	l
drsnost	nezávisí	k/d

Z těchto výsledků a závěrů je pro temperační systém optimální dodržovat vyvinuté laminární proudění v celém systému, kde je dosahováno minimálních tlakových a tepelných ztrát. Výjimku tvoří temperační systém nástroje, kde je třeba dosáhnout turbulentního proudění v závislosti na přestupu tepla z formy.

Určení potřebného průtoku temperačního média kanálem formy, při celkovém sečtení dílčích tlakových ztrát v nástroji, je dle tab. 2.2.

Tab. 2.2: Určení potřebného průtoku temperačního média kanálem formy, při celkovém sečtení dílčích tlakových ztrát v nástroji. /10/

$$\Delta p_1 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad \text{Tlaková ztráta v kruhovém chladicím kanálu}$$

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (2320 < Re < 100\,000) \quad \lambda \text{ Součinitel tření}$$

$$\Delta p_2 = n_2 \cdot \lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad \text{Tlaková ztráta v kruhovém kanálu (ostrý úhel 90°)}$$

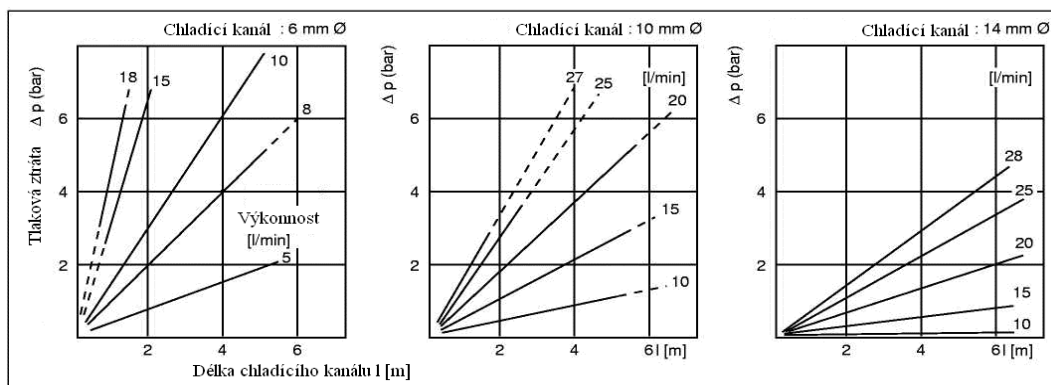
$$\Delta p_3 = n_3 \cdot \lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad \text{Tlaková ztráta v kruhovém kanálu (koleno potrubí 90°)}$$

$$\Delta p_s \quad \text{(tlaková ztráta ve spojení)}$$

$$\Delta p_c = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_s \quad \text{Celková tlaková ztráta v temper. kanálech}$$

$$N = \frac{\dot{m}}{\rho} \cdot \Delta p_c \quad \text{Kapacita čerpadla}$$

Na obr. 2.8 je znázorněna ztráta tlaku v různých průměrech temperačních kanálů formy v závislosti na délce kanálu.



Obr. 2.8: Znáznornění ztráty tlaku o různých průměrech temperačních kanálů formy v závislosti na délce kanálu. /10/

2.3 Vliv teploty formy na kvalitu výstřiku /1/

Teplota formy ovlivňuje zabíravost, plnění atd. Dále záleží na rychlosti ochlazování formy a tím na době chladnutí výstřiku. Tím je ovlivněn především lesk a kvalita povrchu. Z ekonomického hlediska by teplota formy měla být co nejnižší a co nejkratší cyklus, ale z technologického hlediska by teplota formy měla být co nejvyšší a rychlost chladnutí co nejpomalejší. Při pomalém a rovnoměrném chladnutí výstřiku vzniká menší vnitřní pnutí a zlepšuje se tvarová stabilita výrobku. V případě semikrystalických plastů dochází při vyšších teplotách k zvýšení podílu krystalické fáze, zlepšují se mechanické vlastnosti a roste kvalita povrchu výstřiku. Při vyšší teplotě formy lze použít nižší teplotu taveniny a omezit tak nebezpečí degradace plastu. Z uvedených hledisek je zřejmé, že teplotu formy je nutné volit jako kompromis ekonomického a technologického hlediska. Konkrétní teplota formy záleží na druhu plastu a charakteru výrobku.

Nejvyšší použitelné teploty formy musí být nižší, než je teplota tuhnutí příslušného plastu. U semikrystalických plastů je pod teplotou krystalitu T_m a u amorfních plastů pod teplotou zesklňování T_g . Výrobek se uplatňuje svým tvarem, tloušťkou stěny, maximální dráhou toku taveniny ve formě a požadovanou tolerancí rozměrů. S ohledem na vlastností je žádoucí, aby se hmota v dutině ochlazovala ve všech místech stejně rychle. Nerovnoměrné chladnutí je důsledek vnitřního pnutí a kolísání vlastností v jednotlivých místech výrobku. Teplota formy se udržuje pomocí média, které protéká temperačním systémem. Teplota formy není konstantní a kolísá kolem střední hodnoty. Jestliže forma přijme více tepla, začne účinněji pracovat, aby se vyrovnal nevýhodný stav a obráceně. Na tomto zjednodušeném principu vlastně pracují současné regulátory teploty, používané u vstřikovacích strojů. Temperační systém se navrhuje tak, aby měl plochu, jako je plocha určená k chlazení. Teplota média aby nepřekročila rozdíl 3-5 °C mezi vstupem a výstupem.

Teplota formy ovlivňuje rychlost krystalizace polymeru během tuhnutí výrobku, v dutině formy. Smrštění vzrůstá se vzrůstající teplotou formy, avšak celkové smrštění s rostoucí teplotou formy klesá. Pokud tedy bude stejnoměrné rozdělení teplot v nástroji, poroste kvalita výrobku, bude se zkracovat doba cyklu a v průměru se sníží teplota stěny dutiny formy o 10 °C. Jelikož snížení teploty stěny dutiny formy o 1 °C zkracuje dobu chlazení o 2 %, tak správným rozložením teplotního pole se může zvýšit produktivita až o 20 %.

2.4 Temperační systém /4/, /7/

Temperačním systémem se rozumí systém nádrží, ventilů, čerpadel, potrubí, temperačních jednotek atd. Temperovacím systémem se drží dutina formy na požadované pracovní teplotě. Z formy se odvádí co nejrychleji a stejnoměrně nadbytečné teplo, přestupující do stěn tvářecích součástí z taveniny. K tomu účelu se ve formě zhotovují nejrůznější soustavy kanálů a dutin pro vedení temperovací kapaliny, které se nazývají „temperovací okruhy“. Optimální řešení temperačních okruhů rozhodujícím způsobem ovlivňují jakost výstřiků, výkon a hospodárnost formy.

Temperace formy není jen záležitostí konstruktéra formy, ale týká se v první řadě celého systému rozvodu temperovací kapaliny. Temperační systémy mají otevřený nebo uzavřený okruh. Dnes se využívají temperační systémy jen se uzavřenými okruhy. Hlavní důvod byl, že u otevřených okruhů se přiváděla voda do zásobníku z řek nebo potoků, které se přes filtry rozváděly k jednotlivým strojům a formám. Voda protekla temperovacím okruhem formy a odpadním potrubím se vracela zpět do řeky. To mělo celou řadu nedostatků.

- měly velmi rozdílné teploty vody v různých ročních obdobích.
- voda, i když se filtrovala, obsahovala jemné kaly, které se ve formě usazovaly, proto se nedoporučovalo používat minimální průměr kanálu pod 5 mm.
- voda se nemohla upravovat inhibitory pro snížení koroze
- kromě usazenin a rzi se z vody vytvářel vodní kámen, který zanášel kanály, které snižovaly průtok vody a tím se zhoršoval přestup tepla a kanály se musely nákladně čistit
- temperování forem otevřenými okruhy je nevhodné a neekonomické

V uzavřeném okruhu se dá voda upravit inhibitory koroze a filtry zbavit nečistot. Další význam je ten, že uzavřené okruhy pracují se stálou teplotou média a dá se užít i jiné médium, než voda, např. olej. Při uzavřeném okruhu lze měřit vstupní a výstupní tlak a tak měřit rozdíl tlaku, který udává, zda temperační systém je správně zapojen. Z toho plyne, že ani nejlépe vyřešený temperovací okruh formy nemusí být účinný, není-li napojen na správně provedený a udržovaný centrální temperovací rozvod.

2.4.1 Temperace vstřikovacích forem /4/, /7/

Temperačním systémem formy se rozumí systém kanálů a dutin, umožňující přestup a prostup tepla z taveniny do formy a temperovací kapaliny. Pro dosažení co nejúčinnějšího odvodu tepla musí se temperovací kanály umístit co nejbližší k tvářecí dutině formy. Kanály se umísťují zpravidla tak, aby chladicí médium přicházelo do nejteplejšího místa na formě a aby se teplotní rozdíl ve směru toku zmenšoval. Vzdálenost kanálu od líce formy je omezená přípustným kolísáním teploty a závisí na velikosti tlaku. Kanály se rozmísťují rovnoměrně kolem celého výlisku, vzdálenost od povrchu je ve všech místech shodná. Zvýšení účinnosti chlazení lze dosáhnout přiblížením kanálu k tvarové dutině, lokálním zmenšením rozteče kanálů.

S ohledem na vlastnosti výrobku by bylo žádoucí, aby se hmota ochlazovala ve všech místech stejně, čili aby teplotní pole v dutině formy bylo homogenní. Důsledky nerovnoměrného ochlazení se projevují tím, že hmota na chladnějších místech formy tuhne rychleji než na místech teplejších a v těchto místech se vytváří silnější povrchová vrstva ztuhlé hmoty, čímž se však zmenšuje volný průřez, kterým proudí tavenina do dalších částí dutiny. Forma je potom plněna v různých místech při nestejných technologických podmínkách a to se projevuje i nestejnými vlastnostmi výstřiku v těchto místech. Podobný účinek má i nestejná teplota obou částí formy, tj. pevné a pohyblivé. Jestliže je jedna část formy teplejší než ta druhá, hmota na chladnější straně tuhne rychleji a rychleji se také smršťuje a výsledkem je deformace výstřiku, protože vlivem různých teplot došlo k posuvu tepelné osy ve výstřiku, a to na stranu, kde je teplejší povrch dutiny formy. Projevem nerovnoměrného chlazení je také vznik vnitřních pnutí, která mohou dosáhnout takových hodnot, že se na výrobku začnou nejen samovolně tvořit trhliny, ale i rozdílný stupeň orientace.

2.4.2 Kontinuální temperance /7/

Kontinuální chlazení je temperování pomocí konstantního středního průtoku a konstantní požadované hodnoty teploty temperačního média během celého vstřikovacího cyklu. Požadovaná hodnota temperačního média je nastavována tak, aby následně proměnná teplota povrchu tvarové dutiny formy v žádném čase cyklu neklesla pod přípustnou mez pro daný plast. Temperaci vstřikovací formy pomocí kapalného média zajišťují nejčastěji dvě temperační jednotky, a to zvlášť pro tvárník a tvárnici. Forma má několik okruhů, kde se regulace jednotlivých okruhů provádí

U mnohonásobných temperačních okruhů musí být čas cyklu přizpůsobený „nejpomalejšímu okruhu“, tj. kde je dutina formy nejžhavější a tím je potřeba delší čas chlazení. Tato metoda vyžaduje ruční seřízení, které je založené na předchozím vstřikovacím cyklu.

1. Teplotní senzor u tvarové dutiny formy (Ta)
2. Teplotní senzor umístěn blíže dutině než k chladicímu kanálu (Tb)
3. Teplotní senzor u povrchu chladicího kanálu (Tc)

The diagram illustrates the REPS (Cyclical Mould Temperature Control) system. It features a central vertical cross-section of a mold cavity. The mold walls are labeled 'Stěna formy' (Mold Wall). The cavity is filled with 'Kontinuální tok Chladná voda' (Continuous flow of cold water). A 'Sensor umístění' (Sensor location) is indicated by a green dot labeled 'Tb' inside the water flow. A 'Chladicí kanál' (Cooling channel) is shown on the right, with a 'Sensor umístění' (Sensor location) indicated by a blue dot labeled 'Tc'. The mold is divided into two main sections: 'Y' (top) and 'Z' (bottom). The temperature profiles are shown as curves: a red curve for 'Ta' (Ambient temperature) and a blue curve for 'Tc' (Cooling channel temperature). The curves are labeled with numbers 1 through 5, corresponding to the mold's cycle: 1 = Start vstřikování (Start of injection), 2 = konec vstřikování (End of injection), 3 = (unlabeled), 4 = Otevření formy (Opening of mold), and 5 = Uzavření formy (Closing of mold). The diagram also shows the 'Stěna formy' (Mold Wall) and the 'Chladicí kanál' (Cooling channel) with its 'Sensor umístění' (Sensor location).

Na obr. 2.9 je zobrazen zjednodušený příčný řez teplotního profilu „Y“ a „Z“. Rozdíl mezi Y a Z představuje změny ve formující povrchové teplotě z důvodu změny podmínek: tlak vody, teplota vody, teplota okolí (den&noc a léto&zima) , toto vše zapříčiňuje posunutí hranic Y a Z. (Ta) ukazuje změny na povrchu výlisku, (Tb) ukazuje změny uvnitř formy a (Tc) v chladícím kanálovém povrchu.

2.4.3 Impulsní temperance /7/, /8/, /9/

Impulsní temperance se také nazývá temperance s více nezávislými temperačními okruhy ve vstřikovací formě, kde je každý okruh řízen zvlášť, tj. pro každý temperační okruh jsou různé teploty a průtoky temperační kapaliny. Pomocí impulsního tepla/chlazení lze docílit zkrácení doby cyklu až o 20 %, což je zapříčiněno menší diferencí teplot výstřiku při přestupu tepla během temperace, než při kontinuální temperaci.

Impulsní temperance se dělí na tři části:

- 1) provozní teplota formy je v rozmezí 7-45 °C. Roztavený plast předává energii formě. Když energie z plastu začne převyšovat provozní teplotu celé dutiny, je spuštěno impulsní chlazení.
- 2) provozní teplota formy je v rozmezí 30-133 °C. Energie z roztaveného plastu je nedostačující k dosažení pracovní teploty v části nebo v celé dutině. Pak je třeba využít elektrických ohřívačů temperačního média popřípadě indukčních ohřívačů. Následně je spuštěno impulsní chlazení temperačním médiem.
- 3) provozní teplota formy je v rozmezí 100-315 °C. Energie z roztaveného plastu je nedostačující pro dosažení pracovní teploty v dutině formy a pro dosažení pracovní teploty je použito indukčních ohřívačů. Po dosažení pracovní teploty dutiny je spuštěno impulsní chlazení pomocí vzduchu.

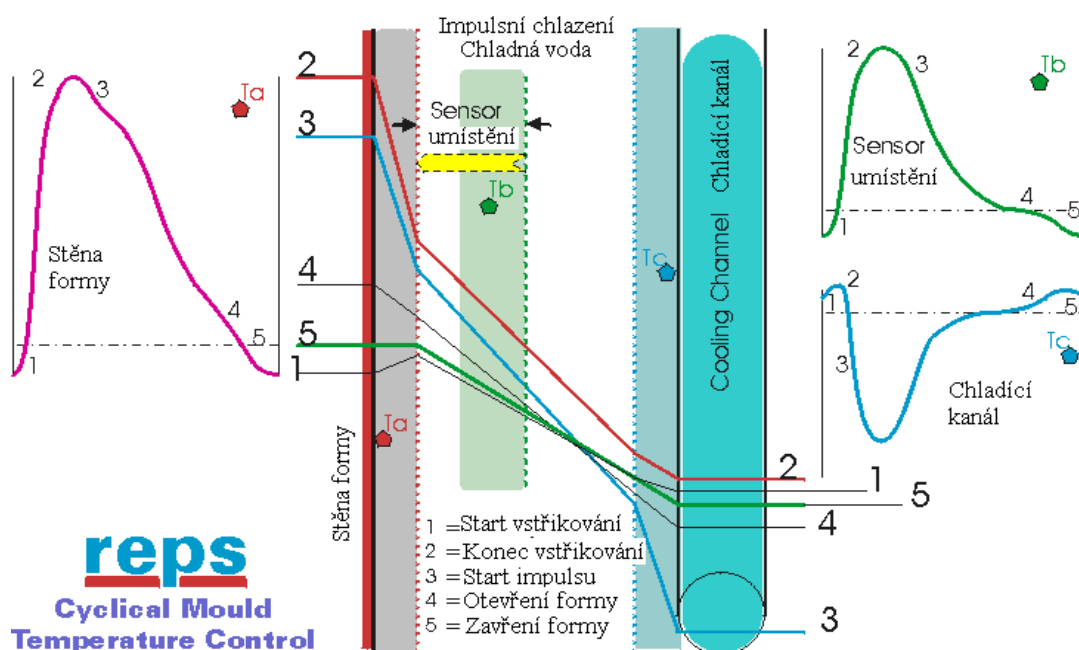
Princip impulsní temperance je v tom, že při zvýšení teploty ve formě, tj. vstříknutím plastu do formy, se objeví teplotní rozdíl na čidlech, která předají tyto hodnoty do řídicí jednotky. Ta si z naměřených teplotních hodnot vytváří referenční křivku, která se nadále stává referenční křivkou pro následující impulsy, podle nichž se řídí tyto následující impulsy. Za základní referenční křivku je brána ta, při které forma dosáhne provozní teploty. Pro tento způsob temperace je bezpodmínečně nutné umístění teplotních čidel, která se mohou rozmístit několika způsoby. Mohou být umístěna do formy, nebo na výstupu temperačního média z formy, popř. kombinací těchto dvou variant.

2.4.3.1 Nízká teplota formy 5-45 °C /7, /8/, /9/

Využití impulsního chlazení, kdy provozní teplota dutiny formy je požadována do 45 °C. Při spuštění vstřikovacího cyklu je forma přehřátá na provozní teplotu pomocí přehřívací jednotky, nebo roztaveným plastem po určitém počtu cyklu. Forma je rozdělena do temperovacích zón, které jsou rozloženy podle nutnosti odvodu tepla ze vstříknutého plastu. Každá část formy, ať pevná nebo pohyblivá, má různé rozdělení temperačních zón, jelikož dutina formy obsahuje různé části, jak vstřikovací, tak vyhazovací a různé tloušťky stěny výrobku.

Na obr. 2.10 je zobrazen příčný řez formou a teplotní profil impulsního chlazení během jednoho formujícího cyklu, v kterém jsou umístěny tři snímače teploty, které měří teplotu:

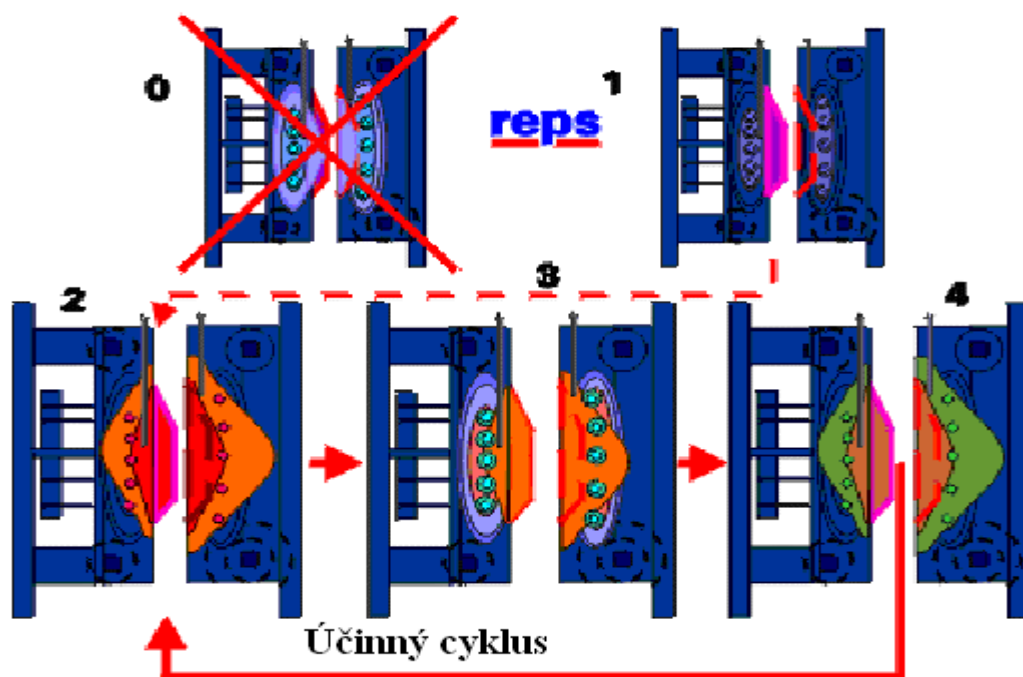
1. Teplotní senzor u tvarové dutiny formy (T_a)
2. Teplotní senzor umístěn blíže dutině než k chladicímu kanálu (T_b)
3. Teplotní senzor u povrchu chladicího kanálu (T_c)



Obr. 2.10: Ukazuje příčný řez formou od stěny povrchu dutiny, až po chladicí kanál, se třemi teplotními grafy (T_a , T_b , T_c). /7/

Při dosažení provozní teploty dutiny formy je vstříknut plast, dojde ke zvýšení teploty dutiny a řídicí jednotka ze signálu teplotních čidel spustí impulsní chlazení. Výstřik se chladí v temperovacích zónách temperačním médiem potřebného průtoku a času až na provozní teplotu formy, následně se impulsní chlazení vypne a čeká na další dávku roztaveného plastu vstříknutého do dutiny a

tento cyklus se stále opakuje dle referenční křivky z řídicí jednotky. Cyklus je zobrazen na obr. 2.11.



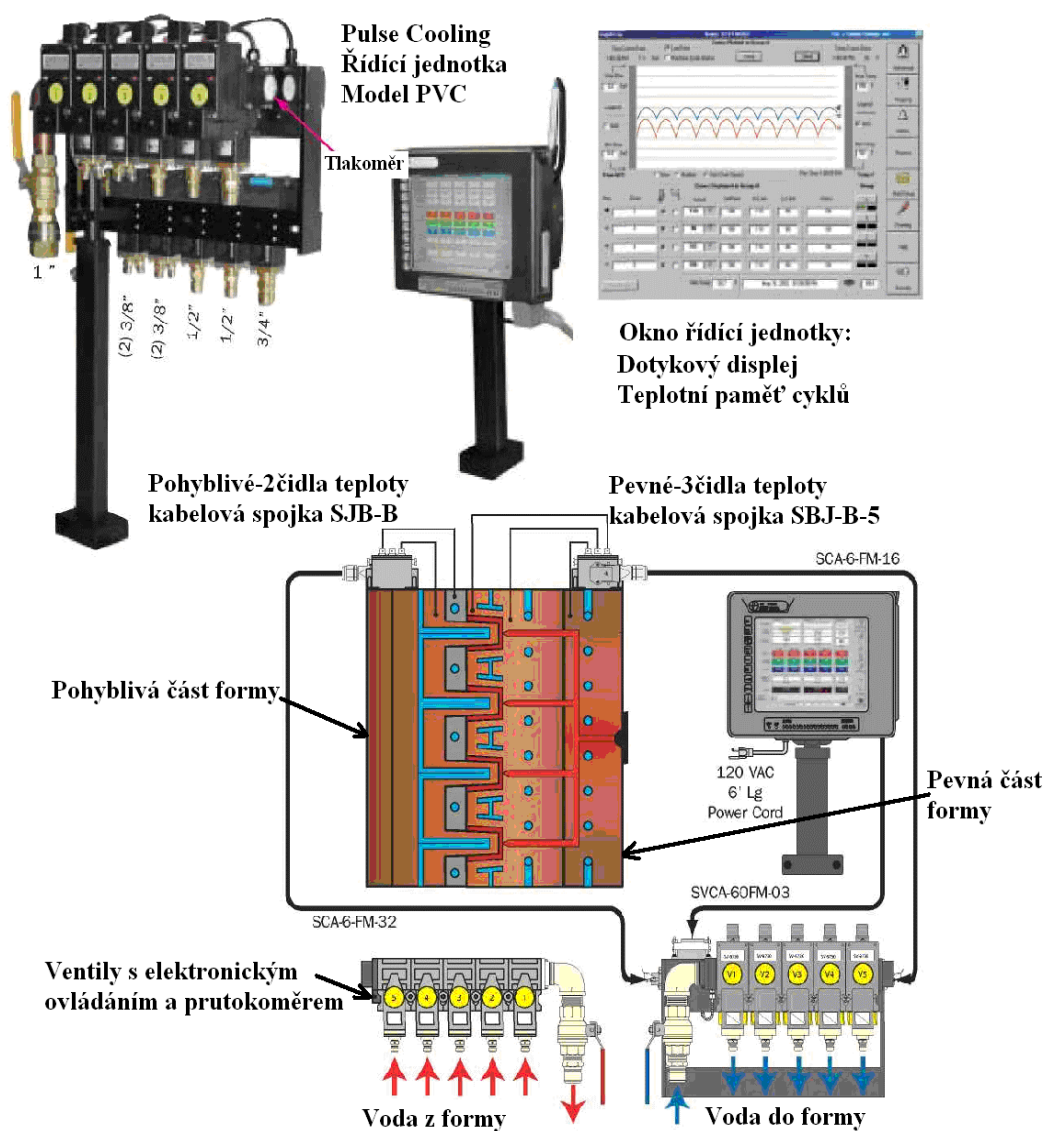
Obr. 2.11: Cyklus impulsního chlazení zobrazený ve čtyřech krocích. /7/

Legenda:

1. Předehřev dutiny formy na provozní teplotu (bez chlazení) roztaveným plastem nebo předehřívací jednotkou.
2. Vstříknutí roztaveného plastu do dutiny formy v provozní teplotě.
3. Zvýšená teplota formy je měřena teplotními sondami. Řídicí systém vypočítá množství tepla, které má být z formy odstraněno, a pustí formou studenou vodu (7°C - 15°C), která odstraní přebytek tepla.
4. Výlisek je vyhozen z formy v požadované teplotě, která odpovídá hodnotě pro další výstřel.

Schéma impulsního chlazení je od firmy Cito na obr. 2.12, s pěti chladicími okruhy, bez použití přehřívací jednotky. Pro dosažení pracovní teploty dutiny je použito pouze tepla z roztaveného plastu.

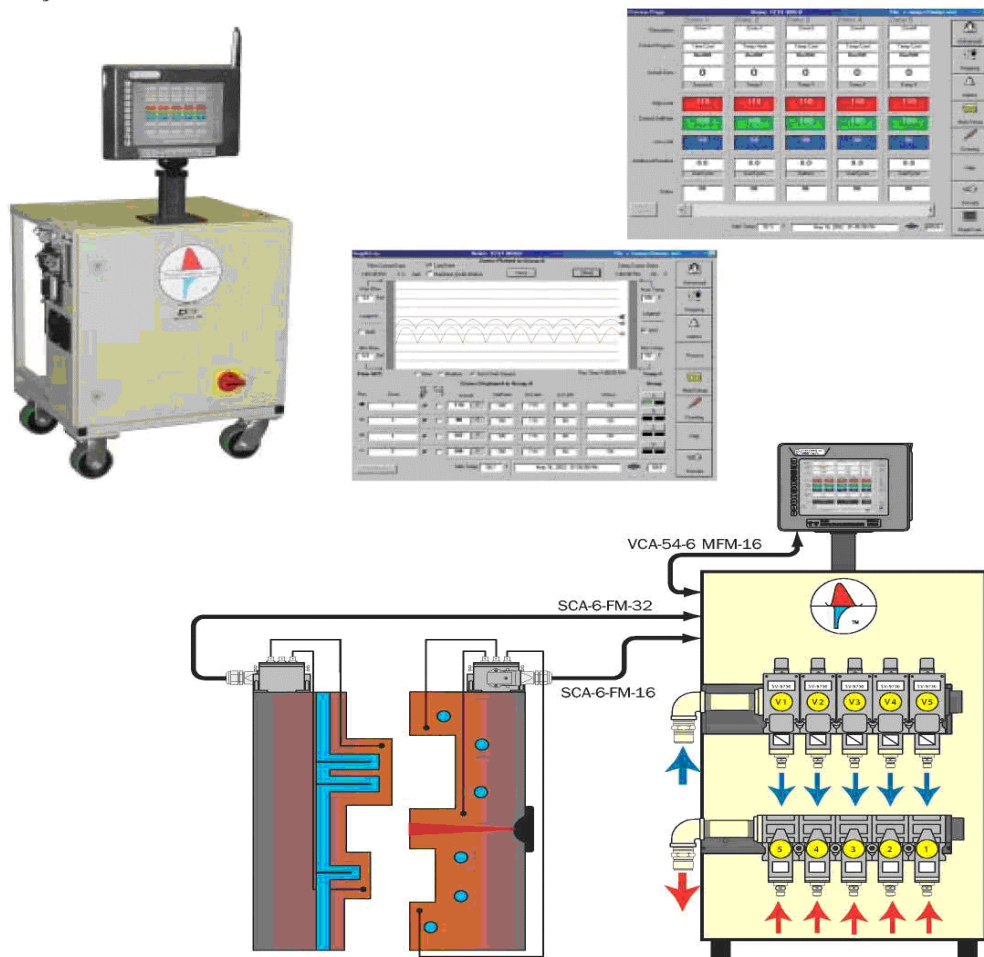
**Ventilové rameno 5 zónové
Model VNA**



Obr. 2.12: Schéma impulsního chlazení s pěti chladicími okruhy bez přehřevu od firmy Cito. /8/

Schéma impulsního chlazení za použití předeřhřivací jednotky (viz. obr. 2.13) před zahájením výroby, umožňuje využít výhod regulačního systému teploty pro vstřikovací formy jak při spuštění ve studeném stavu, tak při přerušení provozu a opětovném spuštění.

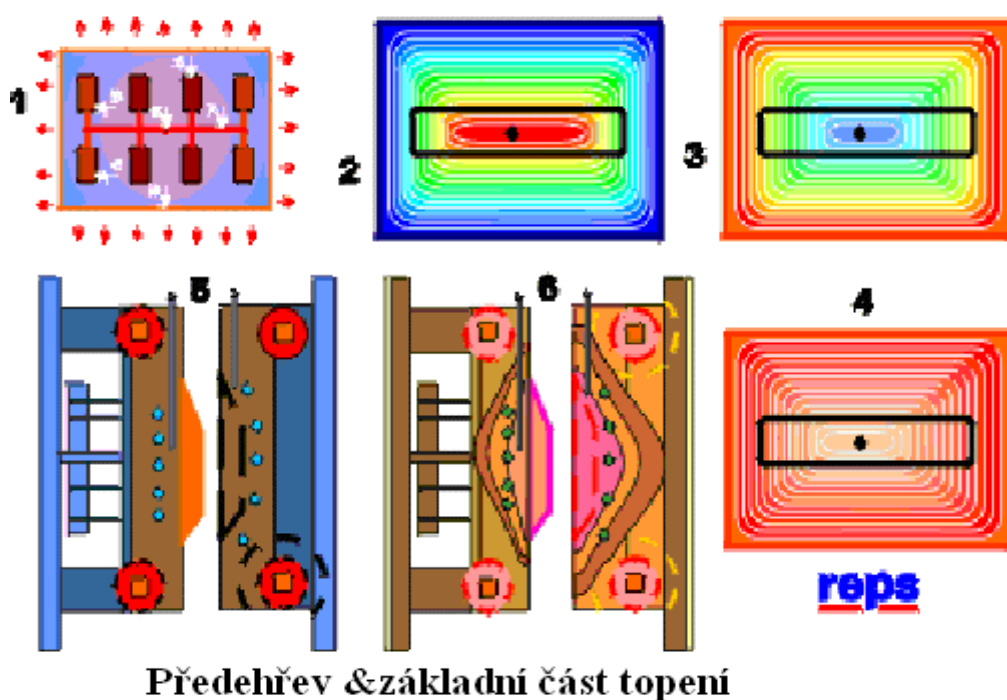
Předeřhřivací jednotka s řídicí jednotkou až s řízením 10 zón



Obr. 2.13: Schéma impulsního chlazení za použití předeřhřivací jednotky od firmy Cito. /8/

2.4.3.2 Střední teplota formy 30-130 °C /7/, /8/, /9/

Jde o využití impulsního chlazení/ohřívání, kdy provozní teplota dutiny formy je požadována od 30 °C do 130 °C, nicméně, rozsah pracovní teploty pro zpracování plastů udává výrobce. Ta se liší druhem zpracovávaného plastu. Princip impulsního chlazení a ohřívání je takový, že roztavený plast je vstříknut do dutiny formy kde předá energii. Když této energie není dostatek, aby forma dosáhla pracovní teploty po celém povrchu dutiny, musí být energie dodatečně dodána do zón, kde plast nedodal potřebnou energii (viz. obr. 2.14).



Obr. 2.14: Zobrazení vstřikovacího cyklu s přívodem tepla z výstřiku a dodatečným přívodem tepla pro vytvoření co nejednotnější teploty v dutině formy. /7/

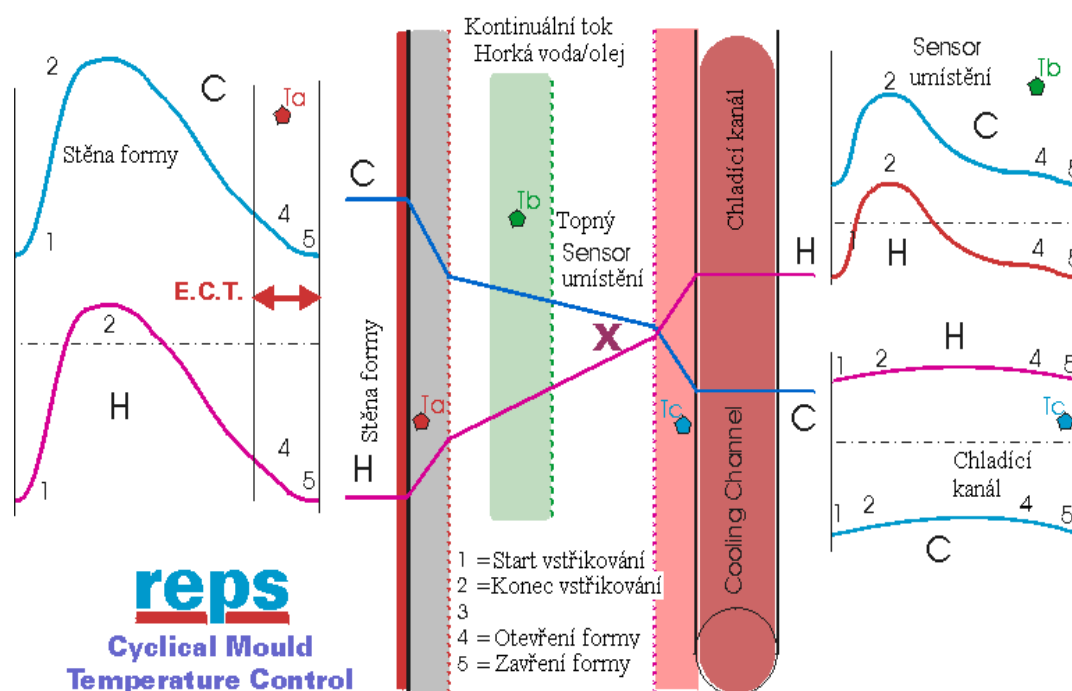
Legenda:

1. Teplo se ztrácí z formy do okolního prostředí
2. Předaná energie z roztaveného plastu.
3. Teplo dodané ohřívacím temperačním okruhem
4. Shodná teplota dutiny formy.
5. Řez formy, který ukazuje teplotní profil předehřevu formy.
6. Řez formy, který ukazuje teplotní profil pracující formy.

Potřebná energie je dodávána dvěma způsoby:

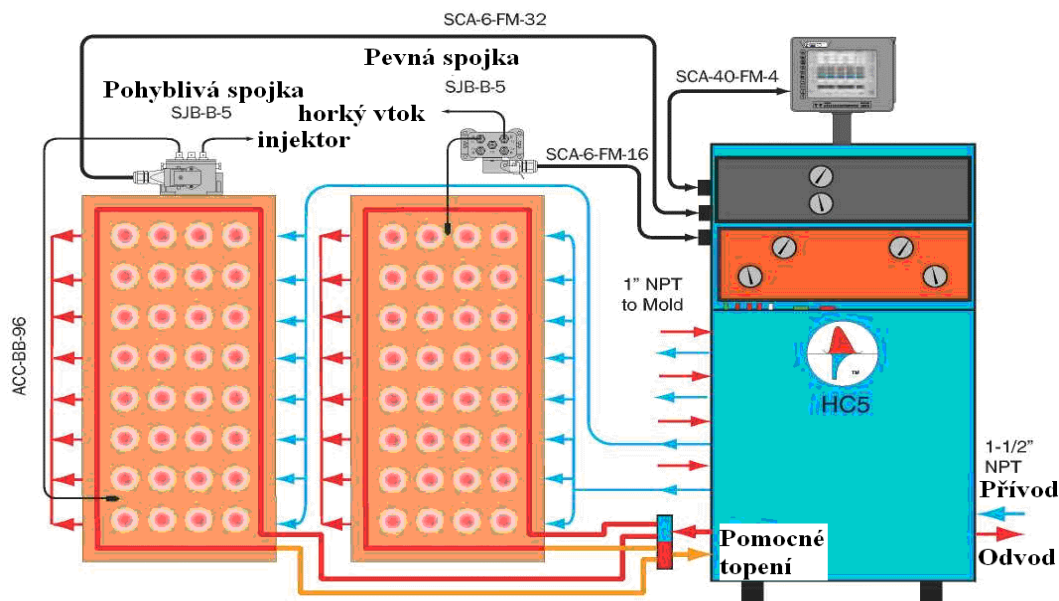
➤ Elektrickými ohřivači vody do 90 °C nebo oleje do 160 °C, při vysokých teplotách, kdy hrozí nebezpečí úrazu popálením a je nutností používat tlakové součásti. Kontinuální ohřívání a impulsní chlazení temperačním médiem má jeden velký problém, a to pomalou dynamiku regulace teploty ve formě (velká tepelná setrvačnost formy) při změně a proto teplota kolísá mezi horním a dolním limitem C & H. Obr. 2.15 ukazuje příčný řez formou a teplotní profil kontinuálního ohřívání a impulsního chlazení během jednoho formujícího cyklu, v kterém jsou umístěny tři snímače teploty, které měří teplotu:

1. Teplotní senzor u tvarové dutiny formy (T_a)
2. Teplotní senzor umístěn blíže dutině než chladicímu kanálu (T_b)
3. Teplotní senzor u povrchu chladicího kanálu (T_c)



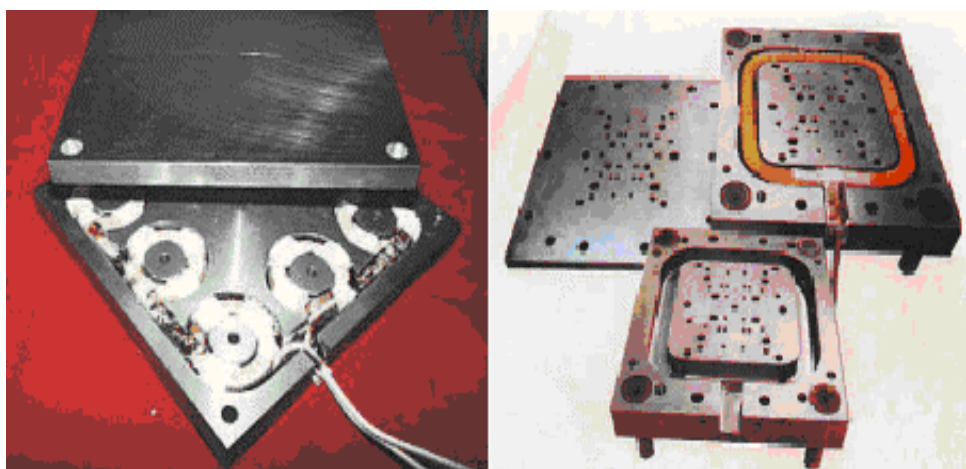
Obr. 2.15: Ukazuje příčný řez formou a teplotní profil kontinuálního ohřívání a impulsního chlazení během jednoho formujícího cyklu se třemi teplotními grafy (T_a , T_b , T_c). /7/

Schéma zařízení impulsního chlazení a kontinuálního ohřívání je na obr. 2.16 od firmy Cito.

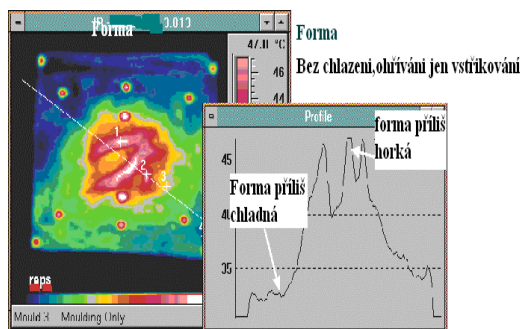


Obr. 2.16: Schéma zařízení impulsního chlazení a kontinuálního ohřívání. /8/

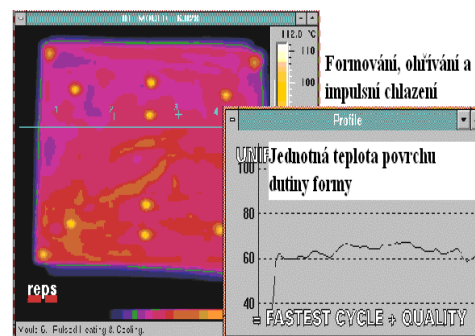
➤ Indukční ohříváče jsou vloženy do formy (viz. obr. 2.17), kde při potřebě dodání energie do dutiny formy je pomocí vířivých proudů. Vířivé proudy procházejí materiálem formy, který ohřívají, a teplo prochází jen do té části formy do které je třeba, oddělením rezistentním materiálem na vířivé proudy, kde se teplo nevytváří. Indukční ohříváče mají výhodu v tom, že teplo vytváří v materiálu formy a tím není třeba odporového vinutí, které má oproti formě omezenou životnost a delší časovou prodlevu.



Obr. 2.17: Zobrazení formy se zabudovaným indukčním ohříváčem. /7/

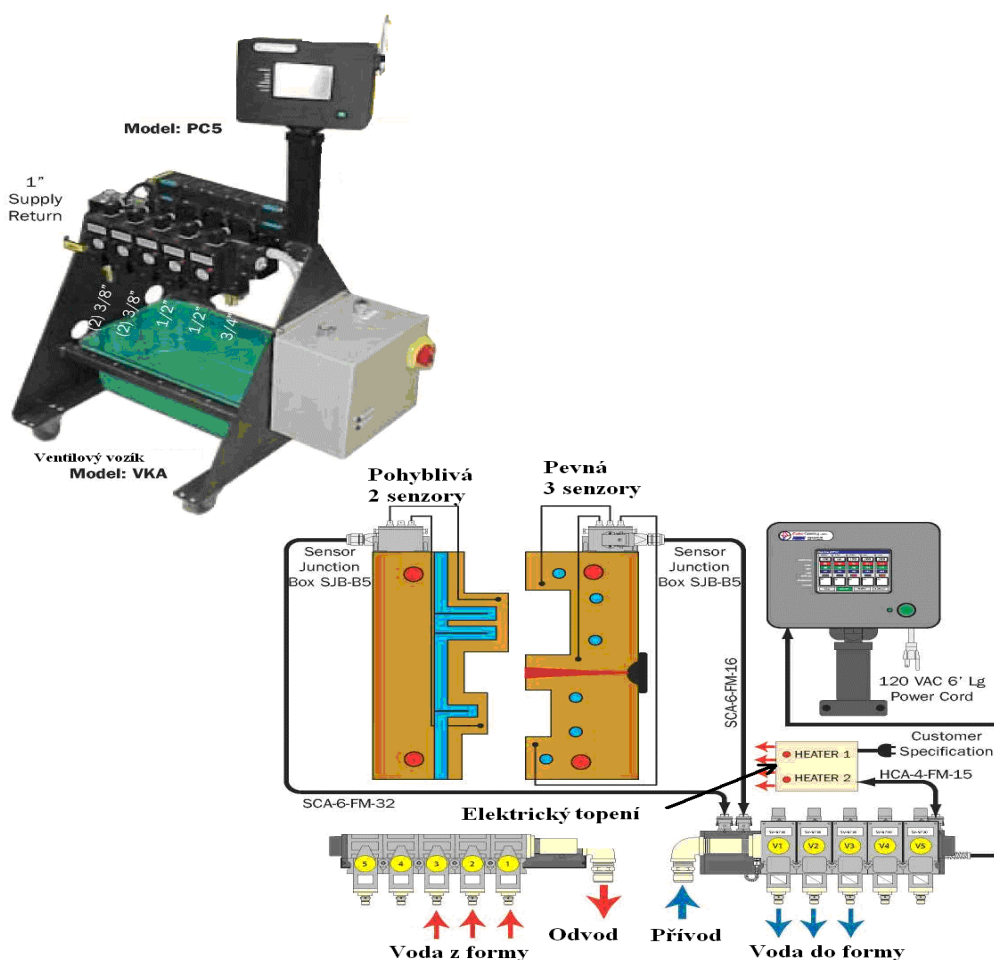


Obr. 2.18: Bez indukčního ohříváče
zobrazený povrch dutiny formy
pomocí termovize. /7/



Obr. 2.19: S indukčním ohříváčem
zobrazený povrch dutiny formy
pomocí termovize. /7/

Na obr. 2.20 je schéma zařízení s impulsním chlazením a ohříváním (indukčním ohříváčem).



Obr. 2.20: Schéma zařízení s impulsním chlazením a ohříváním (indukčním ohříváčem). /8/

2.4.3.3 Vysoká teplota formy 100-300 °C /7/, /8/, /9/

Jestliže pro výrobek je povrchová teplota dutiny nad 135 °C, stává se nevýhodné použít ke kontinuální temperaci vodu. Při teplotě nad 100 °C dochází k varu a použití tlakové vody je nebezpečné a neefektivní.

Další varianta je použít jiné temperační médium s vyšší teplotou varu, např. olej. Olej má velkou nevýhodu, neboť je špatný vodič tepla jak při přijímání, tak při odevzdávání tepla. To má za důsledek, že olejová topidla obecně zpomalují způsob tváření a způsobují pomalou regulaci teploty dutiny formy oproti vodě.

Pro většinu forem, pracujících nad teplotou 120 °C, není hlavní problém jak dutinu ochladit, ale jak nahradit tepelné ztráty. Mnoho forem nepoužívá žádné chladicí médium. Místo toho je použito elektrických ohřívačů, které udržují formu na požadované teplotě. Hlavním důvodem proč není používán olej je, že při dlouhodobém používání při teplotách přes 150 °C olej začne degradovat, vylučovat uhlík, který se začne usazovat na ponorných ohřívačích a v chladicích kanálech. Ty pak omezují rychlost toku a přestup tepla.

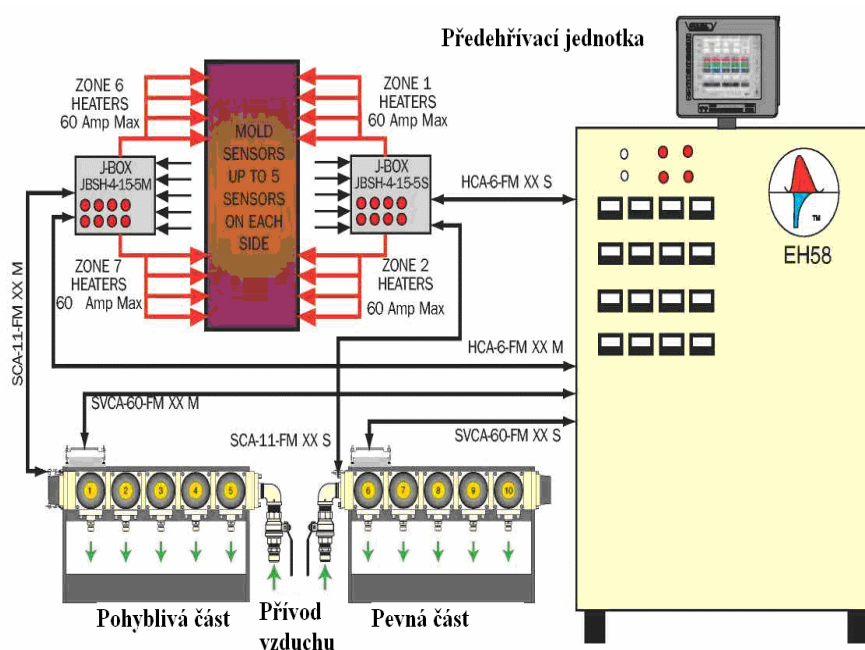
Nejlépe formující povrchová regulace teploty, která může být dosažená s jedním topným systémem, je mezi ± 8 °C a ± 25 °C, což způsobuje teplotní rozdíly částí formy a kvalitativní problémy. Většina těchto aplikací užívá odporová topidla, která jsou neúčinná a nespolehlivá.

Topný systém byl vyvinutý pro elastomery a pro reaktoplasty, kde teplo je přidávané do formy pomocí indukční cívky o nízké frekvenci. Tato technologie byla přizpůsobena i pro vstřikování termoplastů. Elektrický transformátor pracuje tak, že elektřina teče cívkou a vytváří střídavá (50-60 Hz) magnetická pole, která navodí vířivé proudy, které procházejí uvnitř oceli formy. Tyto vířivé proudy přímo vytápějí ocel (ocel formy se stává jeho vlastním ohřívačem). Tento ohřívač formy nemá žádné zpoždění. Jakmile je proud dodáván k cívce, vytváří se teplo přímo v oceli formy, při přerušení dodávky proudu se teplo nevytváří. Tato dynamika topidla má lepší kontrolu nad teplotou formy. Tato topidla jsou štítky vložené do formy tak, aby výhřevnost prostupovala do formy, což vede k vysokému využití energie s malými ztrátami.

Nicméně, pro nejúčinnější impulsní chlazení a ohřívání je pro každou polovinu formy použit minimálně jeden indukční ohřívač a jako chladicí médium je použit stlačený vzduch (viz. obr. 2.21). Ačkoliv vzduch je relativně špatný vodič tepla, přesto má tři přednosti:

1. Stlačený vzduch je běžně dostupný.
2. Stlačený vzduch který rychle expanduje, absorbuje velké množství skupenského tepla.
3. Lze nastavit rychlost proudění vzduchu a tím tak regulovat chladicí faktor.

Impulsní teplo z indukčních ohříváčů a impulsové chlazení stlačeným vzduchem lze používat i pro formy s nižší provozní teplotou dutiny formy, s výjimkou použití vzduchu na místo vody. Tento způsob temperace je schopný udržet teplotu dutiny formy v toleranci $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

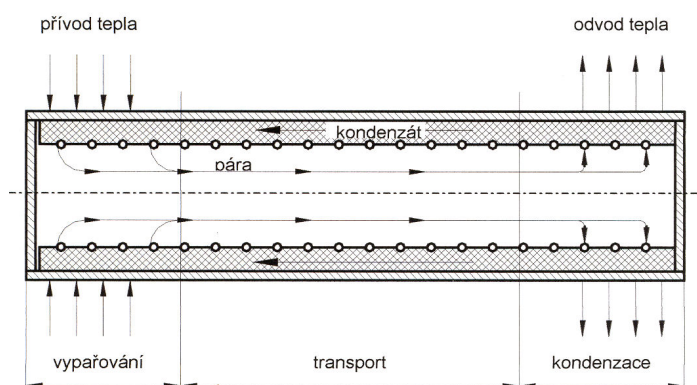


Obr. 2.21: Schéma indukčního ohříváče s impulsním chlazením pomocí stlačeného vzduchu. /8//

2.4.4 Alternativní způsob temperance /2/, /7/, /10/, /12/

Temperace forem tepelnými trubicemi

Tepelná trubice je zařízení, které působí jako vynikající vodič tepla, umožňuje intenzivní přenos z oblasti o vyšší teplotě do oblasti nižší, a to i při malém teplotním rozdílu už od difference $0,5^{\circ}\text{C}$ průměrné teploty. Tvary trubice - kužele, desky nebo těleso s dutinami. Princip činnosti tepelné trubice je na obr. 2.22. Jedná se o oběhový systém uzavřený s oblastmi vypařování, kondenzace a transportu teponosného media v tenké vrstvě. K intenzivní výměně tepla dochází využitím fázové změny teponosného média. Jako teponosné médium slouží pro pokojové teploty čpavek, pro teploty zvýšené až do 300°C voda. Plášť tepelné trubice je z hliníku, mědi nebo ocelový. Trubice pracují s tepelnou vodivostí 10 až 1000x větší



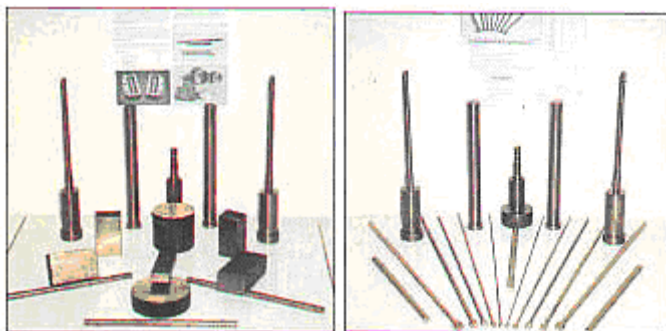
Obr. 2.22: Schéma dějů v tepelné trubici. /2/

než měď. Použití u složitých výstřiků, kde by bylo složité použít temperační kanály (dlouhé tvárníky). U odvodu tepla z trubice se může zabudovat do kanálů s temperačním médiem.

Temperace vložkami z vysoce vodivých kovů

Pro členité výrobky, které se obtížně temperují, zejména tenké výstupky a dlouhé tvárníky, tak i pro výrobky s lokální teplotní nehomogenitou, lze s výhodou použít způsobu chlazení pomocí vložek z vysoce tepelně vodivého materiálu (popřípadě jen nástřiků na povrch tvarové dutiny formy) na bázi slitin Cu, Co, Be (např. materiály Ampcoloy, Moldmax, aj.), které ve většině případů doplňují temperační systém s nucenou konvekcí vody. Na obr. 2.23 jsou zobrazené vložky ze slitin berylia a vyhazovací kolíky.

Použitím vložek z vysoce tepelně vodivého materiálu v blízkosti tvarové dutiny formy lze docílit rovnoměrně zvýšeného odvodu tepla ve vstřikovací formě (zejména při nižších teplotách temperace) tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné teplotní zatížení nástroje i výrobku v celém objemu najednou se souběžným zvýšením produktivity práce. Další nespornou výhodou takového způsobu

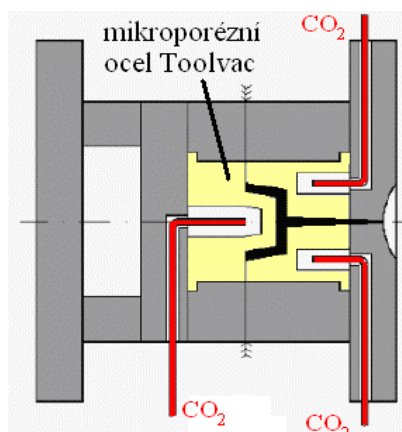


temperace je lepší zatečení taveniny v „zadních“ místech výstřiku bez místních studených spojů a také zkrácení celkové doby cyklu.

Obr. 2.23: Součásti ze slitiny Be (vlevo) tvarové vložky a (vpravo) vyhazovací kolíky. /7/

Temperace kapalným CO₂

Intenzivnější chlazení vstřikovacích forem, spočívá v odpařování kapalného CO₂ ve speciálních mikroporézních ocelových částech formy značky Toolvac (viz. obr. 2.24). Princip je založen na přívodu kapalného CO₂ do formy malými trubičkami o světlosti 0,3 až 0,5 mm, který proniká póry a současně expanduje. Výparné teplo umožňuje rychlý odvod tepla z chlazeného výstřiku. V případě, že výstřik nedovoluje z důvodu vzhledu přímý styk s mikroporézní ocelí, mikropóry se utěsní a odpařený CO₂ se odvádí vstávajícími kanály.



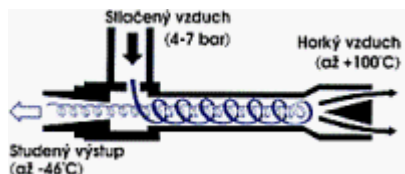
Obr. 2.24: Schéma temperace kapalným CO₂. /12/

Chladicí okruh vyžaduje zásobník na CO₂ s kompresorem, který bývá umístěn uvnitř vstřikovny. Proces je řízen přístrojem umístěným ve formě. V případě uzavřeného okruhu se vrací plynný CO₂ k novému zkapalnění. Tento chladicí systém je vhodný zejména pro velkosériově výrobky a také pro velké mnohonásobné formy.

Temperace stlačeným vzduchem

Způsob temperování vstřikovacích forem Ranque-Hilsch vírovou trubicí (viz obr. 2.25). Princip vírové trubice spočívá v tom, že upravuje obyčejný stlačený vzduch do dvou vzduchových proudů, jeden horký a druhý studený. Vírové trubice mohou vyrábět chlazení v teplotním rozsahu -46 °C až 100 °C bez použití elektrické energie, freonů a pohyblivých součástí, pouze s použitím filtrovaného stlačeného vzduchu o teplotě 21 °C a tlaku 7 barů.

Stlačený vzduch vstupuje do tangenciálně vrtaného stacionárního generátoru. Ten nutí vzduch rotovat trubici podél vnitřní stěny směrem k horkému řídicímu ventilu, přičemž vzduch dosahuje rychlostí zvuku. Část tohoto vzduchu vystupuje přes jehlový ventil jako horký výfuk vzduchu. Zbývající část je stlačena zpět proudem vzduchu, přičemž se točí, pohybuje pomalejší rychlostí a koná přirozenou výměnu tepla. Vnitřní sloupec vzduchu, pomaleji se pohybující, nechává teplo vnějšímu, rychle se pohybujícímu sloupci vzduchu.



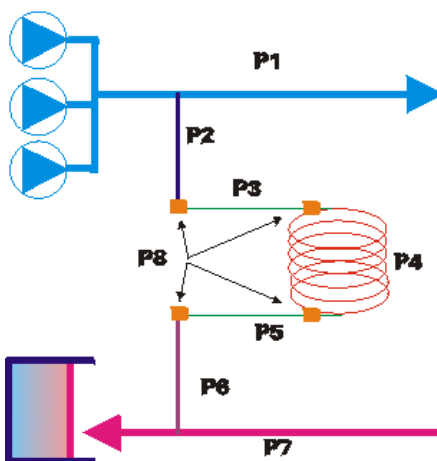
Obr. 2.25: Ranque-Hilsch vírová trubice. /12/

S výhodou lze použít při okamžitém náběhu chlazení nebo ohřívání, má ekologický provoz, vysokou spolehlivost a nízkou pořizovací cenu.

2.5 Ztráta tlaku a průtoku v temperačním systému /7/

Obecně je známo, že snahou výrobců je co nejvíce zkrátit cyklus a tím zrychlit výrobu. Toho se dosahuje přidáním nových strojů, rychlejších a výkonnějších, ale tím se stávají centrální zásobovací systémy temperačního média nedostačujícími, protože jsou dimenzovány na určité množství dodávaného temperačního média. Je příliš nákladné zastavit výrobu, zrušit stávající temperační systém a začít znovu budovat nový. Existuje však několik způsobů, jak tyto nedostatky odstranit.

1. Nejprve se musí najít místa, kde k tlakovým ztrátám dochází. (Na obr. 2.26) je ukázané schéma osmi hlavních příčin ztráty tlaku.



Obr. 2.26: Schéma hlavních příčin ztráty tlaku v celkovém temperačním systému. /7/

P1 je ztráta v zásobovacím vedení, které zásobuje všechna strojní pracoviště, v průběhu let se stal nedostačujícím, protože se prodlužoval v závislosti na napojování dalších nových strojních pracovišť.

P7 jsou ztráty tlaku ve zpětném vedení od strojních pracovišť k nádrži.

Tyto ztráty P1 a P7 přímo souvisejí s délkou a průměrem hlavního potrubí a průtočným množstvím temperačního média (L/min). Jsou-li stroje výkonnější, pracují rychleji a zvyšuje se jejich počet, pak je nutné zvyšovat průtočné množství do té doby, než je to omezeno tlakovými ztrátami. To není možné vyřešit přes „víkend“, aby se instalovalo nové potrubí, nicméně přídatné potrubí srovná a výrazně zlepší tuto situaci.

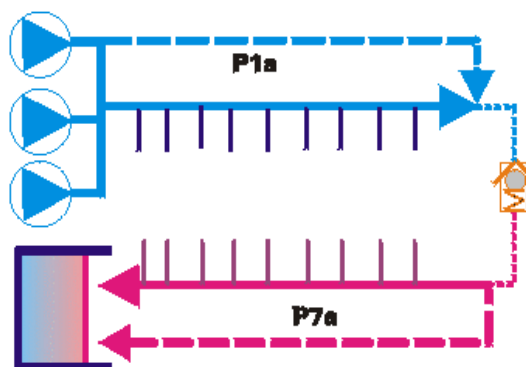
Další místa tlakových ztrát jsou P2 a P6. To jsou spojení mezi strojem a centrálním systémem. Ve většině firem jsou spojení strojů a forem příliš malými průměry hadic, aby dodávala přiměřenou dodávku vody k formám. Např. 1“ průměrem se může zásobovat až pět 0,5“ chladících kanálů bez vytváření tlakových ztrát nad 0,6 barů, 1-d“ potrubí může zásobovat až 10 chladících kanálů a 2“ potrubí až 24 kanálů.

P3 a P5 jsou tlakové ztráty v propojovacím potrubí ze stroje do formy. P8 jsou tlakové ztráty na koncích propojovacích hadic (rychlospojky). Za poslední pár let se začaly používat vzduchové hadice z nylonu pro vodní spojení s formou. Toto je velmi nevhodné, pokud není dostatečný velký vnitřní průměr, nicméně i s velkým průměrem vzduchová hadice má koncové kování s velmi malým průměrem a tím dochází k velkému omezení průtoku temperovacího média.

Ve skutečnosti je nejvíce zpomalující faktor cyklu spojovací hadice mezi formou a strojem na koncové spojovací kování. Tak např. jestli je 11 mm (7/16“) průměr chladícího kanálu, pak koncové spojovací kování by mělo mít min. průměr 12 mm (15/32“) a pružné hadice by neměly být pod 16 mm (5/8“). Jinými slovy, průměr pružné hadice by měl být přinejmenším o 5-7 mm (1/4“) větší než chladicí kanál, aby byla optimální temperace formy. Průmyslový standart konců spojovacích hadic nesplňuje kriteria a vede k nadměrným tlakovým ztrátám. Ty se staly významným limitujícím faktorem v snížení času cyklu. Správné velikosti konce kování hadic ukázaly zvýšení toku chladiva skrz formu až do 225% a snížení ztrát vnějšího tlaku až o 55%, a takto se sníží čas chlazení formy.

P4 je ztráta tlaku temperačního média skrz temperační kanály ve formě, kde ztráta tlaku „dělá užitečnou práci“ při temperaci formy. Pro dobře temperovanou

formu je P_4 (ztráta tlaku) s plným tokem temperačního média požadovaná mezi 2-3 bary.



Obr. 2.27: Snížení přítokových a odtokových ztrát tlaku ve vedení přidáním paralelního potrubí. /7/

Obr. 2.27 ukazuje, jak přidáním souběžného potrubí se budou redukovat přítokové a odtokové ztráty tlaku ve vedení. Toto dodatečné paralelní potrubí by mělo mít přinejmenším stejný průměr jako originální potrubí a může být konstruováno z plastového tlakového potrubí. Účinnost dodatečného paralelního potrubí P1a a P7a se zvýší za pomoci zvýšeného přívodního tlaku a redukce odtokového tlaku ve stroji zvláště do formujícího pracoviště. Paralelní potrubí může být nainstalováno bez zastavení výroby nebo zastaveno na několik týdnů. Toto je možné, jen je-li k dispozici velký přebytek zásobovací kapacity.

Pro správnou funkčnost temperačního systému je třeba minimálních tlakových ztrát v temperačním systému. Toho je dosaženo ustáleným laminárním prouděním. Výjimku tvoří temperační systém formy, kde je třeba zvýšených tlakových ztrát. Toho je dosaženo ustáleným turbulentním prouděním, kdy při tomto proudění se zvyšuje přestup tepla mezi formou a temperačními kanály.

2.6 Úpravy temperačních systémů a forem /4/, /7/, /10/

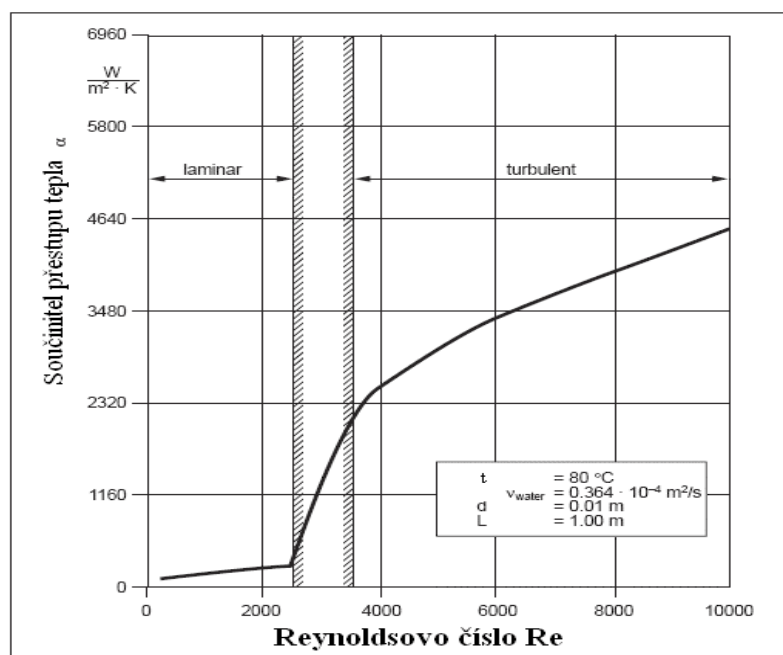
Základním úkolem při navrhování temperovacího systému formy je:

- Dosažení střední hodnoty teploty dutiny a držení v dané toleranci, kterou udává výrobce plastu.
- Teplotní pole na povrchu výstřiku by mělo být co nejvíce homogenní ve všech bodech dutiny formy. Proměnné teplotní pole má vliv na celkové vlastnosti vstřikovaného výrobku.
- Celková doba cyklu by měla být co nejkratší, aby bylo zajištěná vysoká cenová efektivita při dané kvalitě vstřikované součásti.

Ke splnění těchto požadavků je nutné mít správně navrženou formu. Tady musí být nalezen kompromis mezi vstřikovacím, odvzdušňovacím, temperovacím a vyhazovacím systémem. Pokud jeden ze systému nebude pracovat optimálně, výroba, efektivita a kvalita budou ztrácet na hodnotě. Několik návrhů a doporučení pro zlepšení účinnosti temperačního systému:

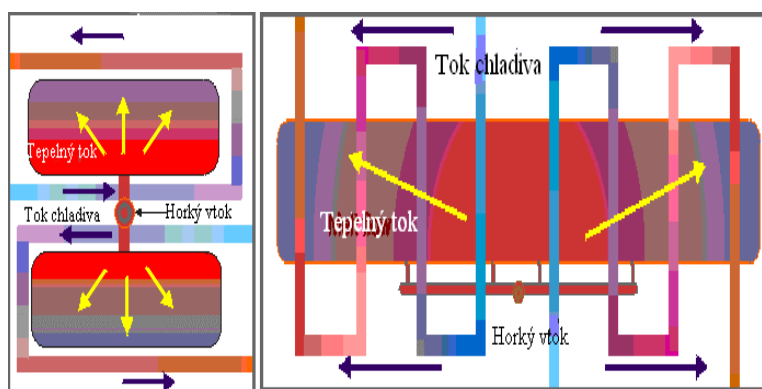
1. Jeden z návrhů, jak zlepšit temperaci formy, byl uveden již v kapitole 2.3.1 (alternativní způsoby chlazení) a další návrhy na temperačních okruzích jsou uvedeny následně a povedou ke zrychlení času cyklu a jakosti výrobku.

2. V temperačním kanálu formy zajistit turbulentní proudění (Reynoldsovým číslem Re mnohem vyšším než 2300). Jestliže proudění není turbulentní, je třeba snížit průměr chladícího kanálu (pro danou výkonnost), použít méně viskózní médium nebo zvýšit rychlost toku temperačního média. Na obr. 2.28 ukazuje důležitost turbulentního proudění temperačního média. Součinitel přestupu tepla α je ukázaný v obr. 2.28. Je to rozhodující parametr pro účinnost temperačního systému v dané pozici s danou velikostí temperačního kanálu. Povrch temperačních kanálů je vyráběn frézováním nebo hrubým vrtáním, což podporuje turbulentní proudění .



Obr. 2.28: Závislost rychlosti proudění v závislosti na přestupu tepla. /10/

3. Zajištění co nejmenší teplotní difference v různých bodech dutiny formy. To je zajištěno rozmístěním temperačních kanálů, aby těsně kopírovaly vstřikovací dutinu formy ve všech místech s přibližně stejnou vzdáleností od dutiny formy. Musí být dostatečně daleko, aby nedošlo k porušení dutiny formy. Umístění temperovacích kanálů a jejich rozměry, jakož i teplota a směr proudění, má značný vliv na rovnoměrnosti teploty formy. Proto pro dosažení co nejrovnoměrnější teploty



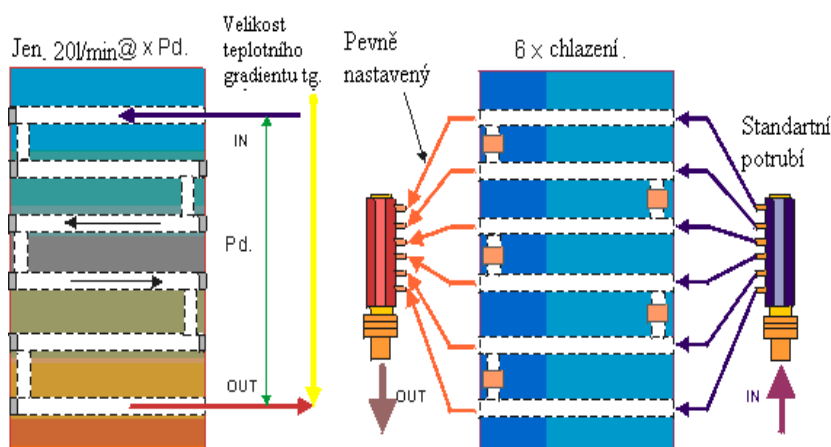
v dutině formy přivádíme chladicí médium k nejteplejšímu místu (okolí vtoku) a následně směrem ven z formy, což je uvedeno na obr. 2.29.

Obr. 2.29: Návrhy pro zlepšení jednotné teploty povrchu formy v závislosti na poloze vtoku a přívodu temperačního média. /7/

4. Forma dosahující vysokých nebo nízkých teplot než je teplota okolí by měla být izolována ze strany upínacích ploch stroje, aby redukovala tepelnou hmotu

a tepelné ztráty. Za vysoké pracovní teploty jsou považovány nad $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a za nízké teploty pod $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Forma by měla být izolována i z vnějších stran speciálními nátěry zabraňující tepelným ztrátám a pocení.

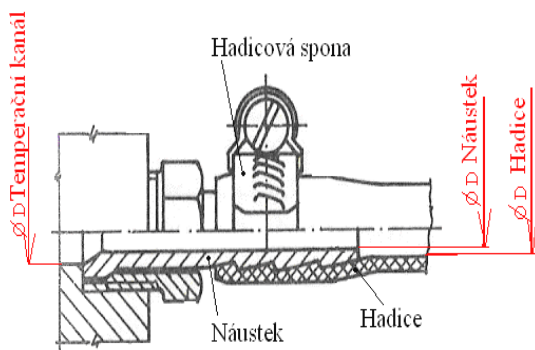
5. Správné zapojení temperačních kanálů na formě (viz. obr. 2.30). Průměr hadice přívodní i odpadní by neměl nikdy být menší než průměr chladicího kanálu ve



formě. Forma by měla být zapojena paralelně, aby se nezvětšoval teplotní spád temperačního média.

Obr. 2.30: Snížení teplotního spádu ve formě. /7/

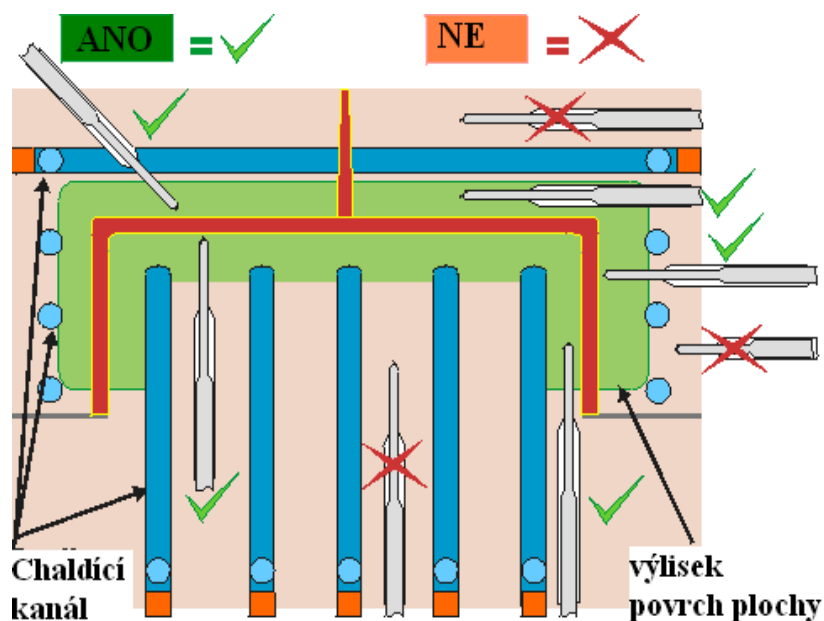
V mnoha případech se stává, že spojovací kování na konci hadice u stroje a spojující náustek na formě omezuje průtok temperačního média. Např. jestliže je průměr chladicího kanálu ve formě 11 mm, pak konec kování hadice by měl být 12 mm a průměr pružné hadice by měl být 16 mm. Jinými slovy, pružné hadice by měly být o 5-7 mm větší, než je průměr chladicího kanálu, jinak dochází k nadměrným tlakovým ztrátám. Příklad nejobvyklejšího připevnění hadice k formě je na obr. 2.31, kde vznikají velké tlakové ztráty.



Obr. 2.31: Standardně používaný náustek. /4/

6. Správné umístění teplotních čidel. Pro správné sledování a řízení teploty vstřikovací formy je nezbytné umístit čidlo co nejbližší ke vstřikovací dutině, než k chladicímu kanálu, aby byla správně sledována teplota. Aktuální teplota je v nástroji měřena čidly k tomu určenými. Tím je dosaženo, že výrobek chladne ve všech místech rovnoměrněji a po vyjmutí z formy má přibližně stejnou teplotu v celém

objemu. Aby byla správně řízená teplota, musí být správně umístěna teplotní čidla ve formě. (viz. obr. 2.32).



Obr. 2.32: Správné rozmístění teplotních čidel ve formě. /7/

Teplotní čidla mohou být umístěna v nástroji nebo na výstupu temperačního kanálu nebo nejlépe kombinací těchto dvou variant. Při impulsní teplotě neovlivňuje okolní teplota prostředí dutinu formy, a to, zda je den nebo noc, nebo zda je zima nebo léto.

2.7 Centrální temperační systém a jeho hlavní části

Centrální temperovací systém slouží při zpracování plastů k dopravě média v požadovaném množství a dané teplotě k formě, aby bylo zajištěno dostatečné a rychlé temperování formy. Centrální temperovací systém je složen z několika částí:

2.7.1 Hlavní centrální chladicí jednotka /8/

Hlavní centrální chladicí jednotka je zdrojem temperovacího média v požadovaném množství a teplotě pro daný počet připojených vstřikovacích strojů ve vstřikovně. Teplota užívaná v centrálním chladicím systému se pohybuje od 8 °C do 15 °C. Hlavní centrální chladicí jednotka udržuje teplotu v zásobníku a v centrálním temperovacím systému dvěma způsoby:

- chlazení vodní, také nazývané mokré, využívá tepelného čerpadla, kdy je přebytečné teplo z oběhové kapaliny v chladicí nádrži odebráno jiným odděleným vodním okruhem, který odebrané teplo odvede do okolí.
- chlazení vzduchem, také nazývané suché, využívá odstraňování tepla z chladiva vypařováním tepla pomocí vzduchu do okolního prostředí. Regulovaný uzavřený okruh s temperačním médiem je zobrazený na obr. 2.33 a následně schématicky znázorněn na obr. 2.34.

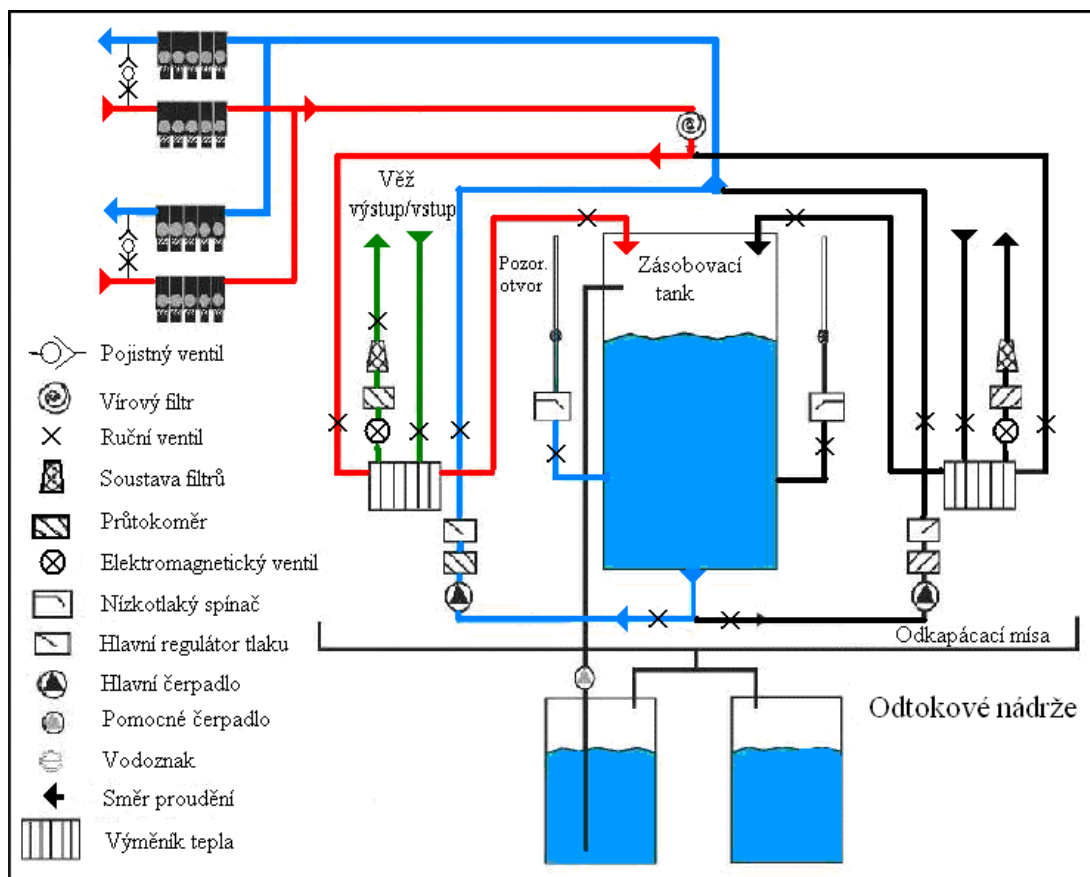
Parametry centrální chladicí jednotky-Typ CL 2 jsou:



- s dvojitým uzavřeným centrálním obvodem
- s jednou otevřenou centrální nádrží a dvěma nezávislými čerpacími jednotkami
- s primárním okruhem a sekundárním okruhem (záložní)

Obr. 2.33: Chladicí zařízení typ CL 2 s uzavřeným regulačním obvodem. /8/

Schéma uzavřeného centrálního chladicího regulačního obvodu –TYP CL2



Obr. 2.34: Schéma centrálního chladicího zařízení CL2. /8/

Temperační kapalina musí mít dobré tepelné vlastnosti, vysokou životnost, tepelnou stálost, nízkou teplotu a nesmí chemicky ovlivňovat povrch temperačních kanálů. V plastikářském průmyslu se pro nižší teploty s výhodou používá voda, pro vyšší teploty potom různé typy olejů. Všechny součásti, přicházející do styku s temperačním médiem, jsou vyrobeny z nekorodujících materiálů (nerez ocel, bronz, hliník). Dále se může použít vzduchové chlazení, ale pořízení je dosti nákladné.

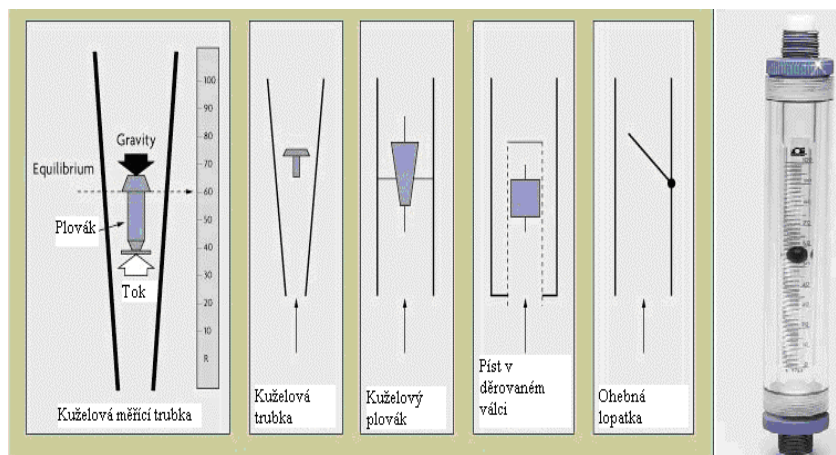
2.7.2 Průtokoměry /8/,/13/

Průtokoměry jsou zařízení pro určení průtočného množství temperační kapaliny formou. Jsou různé druhy průtokoměrů, které určují průtok temperačního média na různých principech:

A.) **Průtokoměry**- měří průtok temperačního média v daném okamžiku. Jsou konstruovány z různých materiálů dle procházejícího média, potřebné přesnosti, používaného tlaku a v různých velikostech dle daného průtoku. Jejich velkou výhodou je nízká cena. Patří sem např.

1. Válcový průtokoměr:

Průtokoměr je kuželovitá trubice a plovák. Je to nejrozšířenější průtokoměr, protože je levný, jednoduchý, má menší tlakovou ztrátu, dobré rozsahy a lineární výstup.

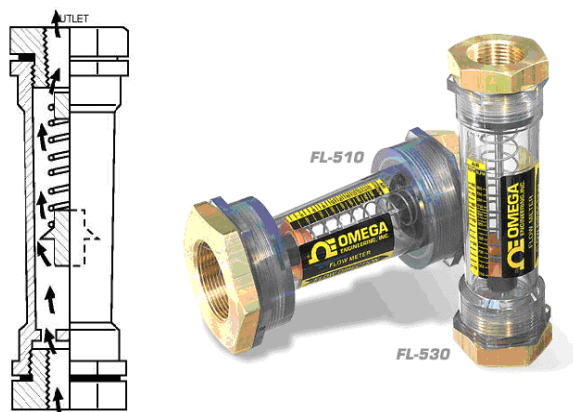


Různé typy konstrukce válcových průtokoměrů jsou zobrazené na obr. 2.35.

Obr. 2.35: Různé typy konstrukce válcových průtokoměrů. /13/

2. Pístový průtokoměr:

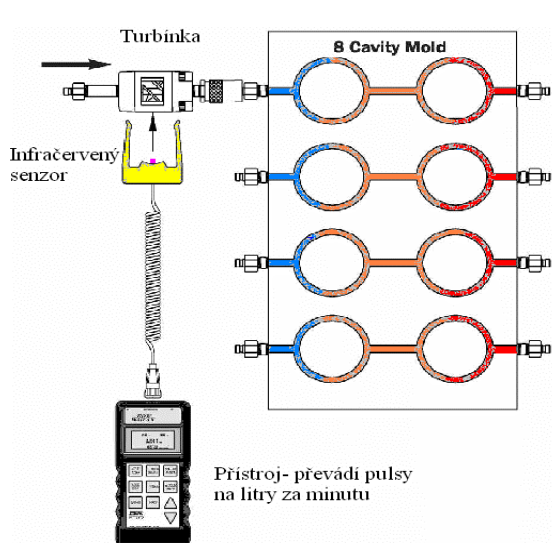
Pístový průtokoměr s pružinou a pístové modely pro plyny a kapaliny (viz. obr. 2.36.). Pístové typy průtokoměrů používají prstencovitý tvar clony ve tvaru pístu a kuželovitou trubici. Píst je tlačěn do základní polohy ("není průtok") kalibrovanou



pružinou. Stupnice jsou vytvořeny při měrné hmotnosti 0,84 pro měření olejů a 1,0 pro měření vody. Jejich jednoduchost tvaru - konstrukce a jednoduchost, se kterou mohou být vybaveny elektrickým výstupem, je předurčuje jako alternativu k průtokoměrům, pro indikaci a regulaci.

Obr. 2.36: Pístové průtokoměry. /13/

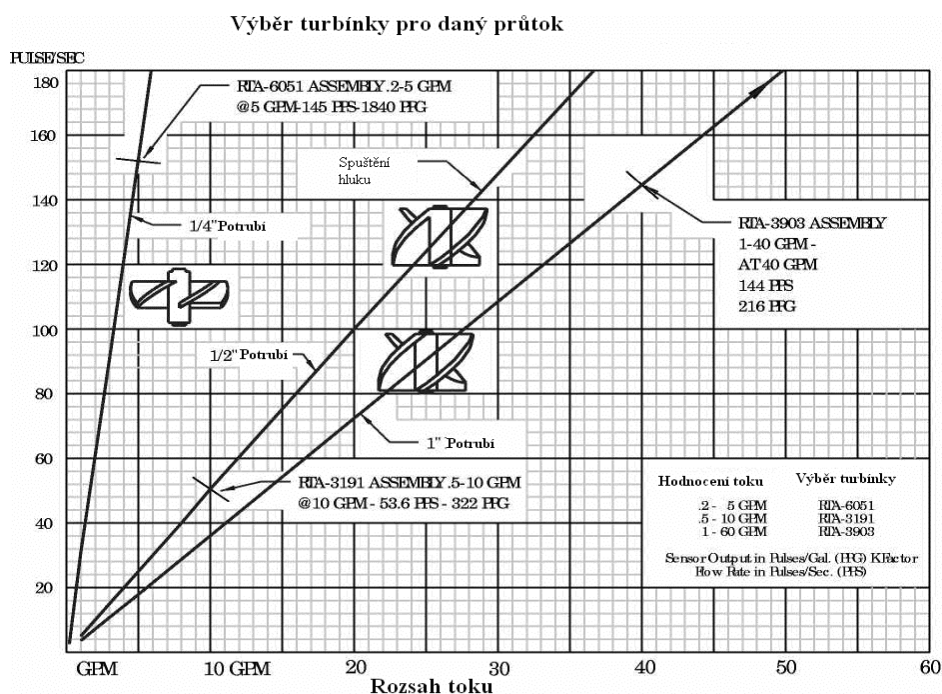
B.) Měření průtoku pomocí turbínky (viz. obr. 2.37.)- vybere se typ turbínky podle předpokládaného rozsahu průtoku temperačního media a následně clona pro daný



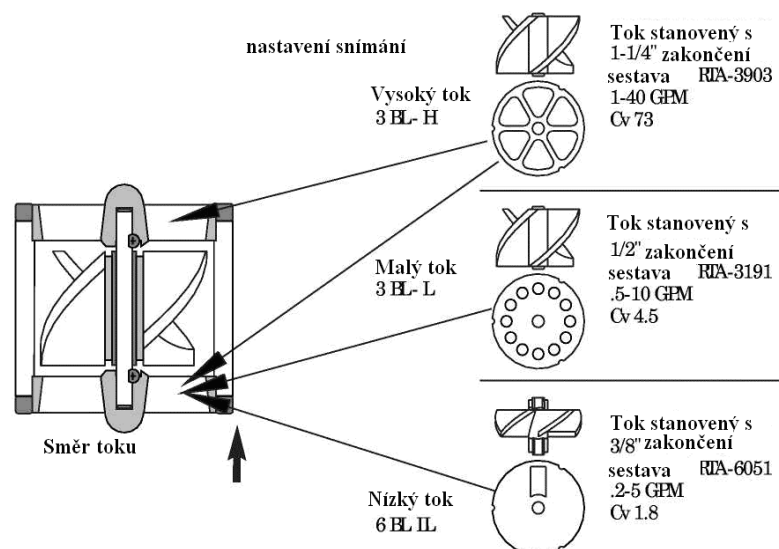
průtok a průměr kanálu. Turbinka je umístěna v průhledné plastové kleci, kde přiložením přístroje s infračerveným senzorem, který má ladění automaticky se samočinnou kompenzací, který počítá pulsy za sekundu a převádí na průtok v litrech za minutu nebo v galonech za minutu.

Obr. 2.37: Měření průtoku pomocí turbínky a s infračerveným snímání pulzů a převáděcím přístrojem na litry za minutu nebo na galony za minutu. /8/

Výběr turbínky pro správně měření průtoku temperačního media dle grafu (viz. obr. 2.38) a následný výběr clony dle obr. 2.39.



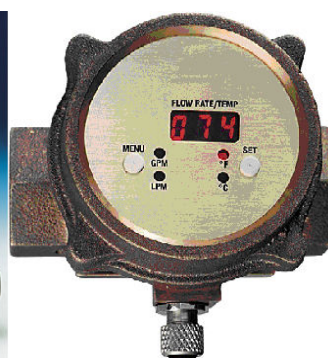
Obr. 2.38: Výběr turbínky dle rozsahu průtoku temperačního media v závislosti na pulzech. /8/



Obr. 2.39: Výběr clony podle typu turbíny a rozsahu průtoku temperačního média. /8/

C.) **Vírové průtokoměry** (viz. obr. 2.40) - využití princip vírů. Proud naráží na kolmou překážku a při obtékání vznikají střídavě víry a tím i tlakové změny, jež jsou snímány piezoelektrickým senzorem. Frekvence signálu je úměrná rychlosti proudění, ten je zesílen a konvertován na výstup a lineárně úměrný průtoku. Vortex technologie umožňuje měření bez pohyblivých částí, jež se opotřebovávají nebo zadírají. Měřidlo zobrazuje na displeji průtok v galonech i litrech. Průtokoměr může být instalován v libovolném směru průtoku.

Vírové průtokoměry lze použít pro kapaliny neviskózní, čistou nebo znečištěnou vodu a pro kapaliny kompatibilní s mosazí, PVDF a Vitonem. Typické aplikace budou v chladicích okruzích s vodou a 50% glykolu a ve vodních



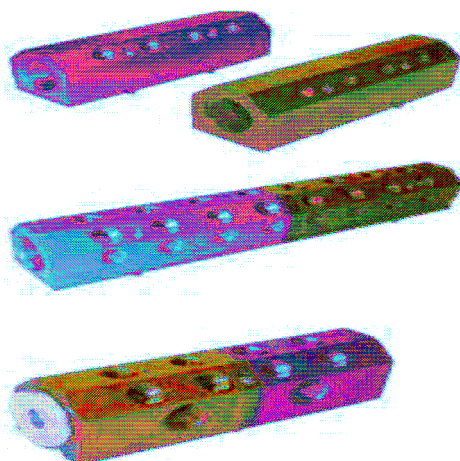
chlazeních strojů až s 10% rozpustných chladicích látek.

Obr. 2.40: Vírové průtokoměry pro průmyslové využití. /13/

2.7.3 Rozvodný systém potrubí /8/

Důležitý je rozvodný systém potrubí, který dopravuje temperační médium k jednotlivým strojům ve vstřikovně a zase zpět. Potrubí musí mít dostatečný průměr, aby při plné zátěži všech vstřikovacích strojů měly temperační kanály formy dostatečný průtok temperačního média.

Rozdělovací potrubí je součástí temperačního systému, kde je přítok temperačního média rozdělen do požadovaného počtu temperačních okruhů ve formě



s daným průměrem do temperačního kanálu ve formě a na konci temperačních kanálů zase spojen v jeden okruh. Průměr vstupního potrubí musí být dostatečně veliký, aby rozdělil průtok média do daných okruhů, kde je turbulentní proudění, a tím zajistil nejlepší přestup tepla z formy do temperačního média.

Obr. 2.41: Rozdělovací potrubí. /8/

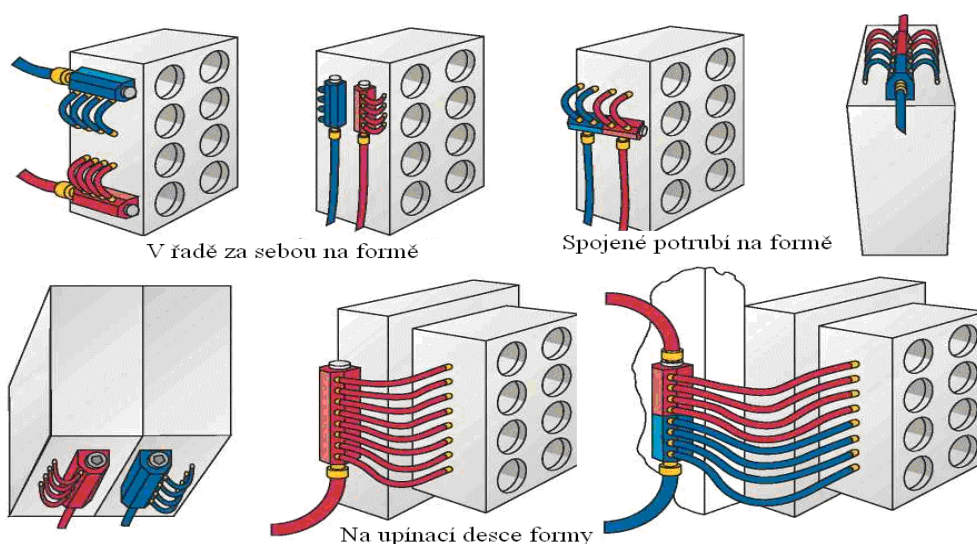
Výhoda tohoto rozdělovacího potrubí je:

- barevné rozlišení (pro přívod média modrá barva a odvod média z formy červená barva)
- napojení náustků v požadovaném koncovém průměru pro daný průměr temperačního kanálu
- snadné připevnění na formu a tím minimální délka potrubí k propojení s formou
- urychlení při výměně formy, snadné propojení vnějšího potrubí
- připojení v omezeném prostoru, připojení až 8 okruhů na každé z pěti stran a maximální propojení až 40 kanálů.



Obr. 2.42: Ukázka, jak na porubí připojit různé průměry náustku dle průměrů temperačních kanálů ve formě. /8/

Ukázka případů montáže potrubí na formu:



Obr. 2.43: Ukázka případů montáže potrubí na formu nebo na upínací desku formy. /8/

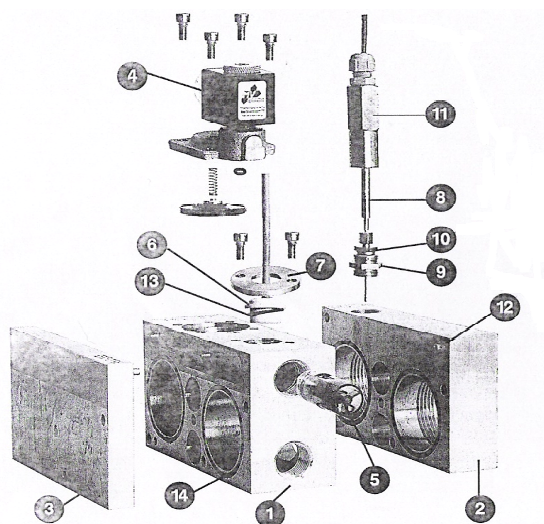
2.7.4 Ventily /7/, /9/

Ventily ovládají průtok temperačního média, které protéká daným temperovacím kanálem vstřikovací formy. Je mnoho druhů ventilů, které se používají při temperaci formy.

Ruční ventily se používají při kontinuální temperaci vstřikovací formy, kdy se pootevřením ručního ventilu nastaví potřebný průtok, a to zůstává po celou dobu vstřikování daného výrobku.

Řízené ventily se používají při impulsní temperaci, kdy je třeba řídit průtok temperačního média v závislosti na potřebě odvodu tepla z daného místa formy. **Magnetické ventily** standardní se samočinným ovládáním, nebo ovládaný servem. Tyto magnetické ventily se zabudovávají do modulárních bloků rozdělovače. Modulární blok rozvaděče firmy Rhytemper v sobě obsahuje tyto díly:

- rozdělovač přítoku a zpětného odtoku pro chladicí vodu se jmenovitým průměrem 46 mm
- spínací ventil pro přítok jednotlivých temperačních okruhů vstřikovací formy
- měřicí turbínku v přítocích v temperovacích okruzích vstřikovací formy pro měření průtoku
- s možností připojit adaptér pro měření teploty ve zpětném odtoku chladicího okruhu vstřikovací formy.



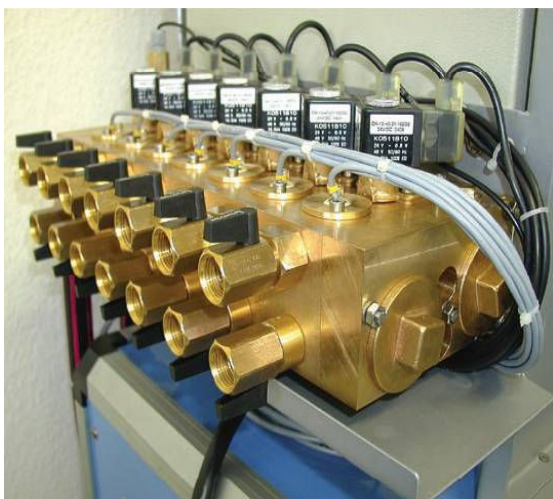
Obr. 2.44: Modulární blok rozdělovače firmy Rhytemper. /9/

Součásti modulového rozdělovače:

- P1 Ventilový blok Ms s deskou pro zakrytí Hallového čidla
- P2 Přípojná deska Ms se závitem připojení 1"
- P3 Koncová deska Ms
- P4 Násada na ventil řízený servem nebo pro samočinně ovládaný ventil
- P5 Turbínový systém
- P6 Hallový senzor (snímá pulsy turbínky)
- P7 Deska
- P8 Čidlo přítoku (termočlánek typ J)

- P9 Kus se závitem 3/8" (1")
- P10 průchozí šroubení s čepičkou D=1,5 mm Ms
- P11 Ochranná trubka
- P12 Rýhovaný kolík 4 M 6x10 (2 kusy pro nastavení bloků mezi sebou)
- P13 O-kroužek pro těsnění Hallového čidla
- P14 O-kroužek pro utěsnění bloků mezi sebou

Tyto konstrukční díly jsou integrovány do bloku ventilu a propojují se dohromady pomocí tyče se závitem, včetně přípojně a koncové desky. Utěsnění se provádí pomocí kroužků. Díky kompaktní konstrukci je možno i u relativně malých strojů pro vstřikování blok namontovat na upínací desky vstřikovacích forem jako „přepážku“ a vstřikovací formu napojit na hadici přímo na této desce. K tomu je na každou desku vstřikovací formy potřeba připojit pouze dvě hadice pro centrální

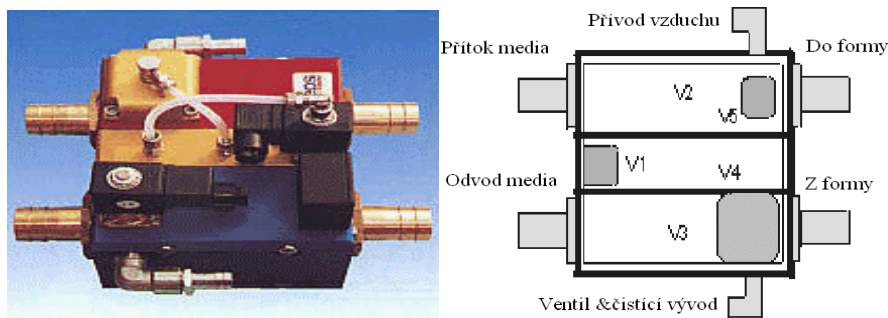


přívod a zpětný odvod. Také je k dispozici tzv. kombinovaný ventilový blok, u něž je u trubek rozdělovače závit 1". Trubky se mohou montovat na začátku, popřípadě na konci modulového bloku a tím přípojně a koncové desky odpadnou. Díky tomu je možno volně volit stranu připojení a druhý konec se uzavře pomocí záslepky 1".

Obr. 2.45: Modulární rozdělovač do firmy Rhytemper. /9/

Řízený ventil ovládaný vzduchem nebo temperovací kapalinou je postavený v multi-ventilové kompletaci. Všechny velikosti užívají navržených membránových ventilů ovládané servo pohonem v obou směrech. Tato jedinečná vlastnost dovoluje ventilu pracovat při 0,35-12,5 barů vodního tlaku nebo při tlaku vzduchu 0,2-12,5 barů bez ohledu na výši nebo kolísání tlaku v temperovacím okruhu. Ventil může být namontován na potrubí nebo pružnou hadici.

Tyto ventily jsou úplně otevřené a je povolený plný tok jak do formy, tak z formy s minimální tlakovou ztrátou, uvedenou 0,2 baru v závislosti na průtoku.



Obr. 2.46: Řízený ventil ovládaný vzduchem nebo temperační kapalinou. /7/

Když je ventil aktivován (V1 vodič), operační postup je následující:

- 1) V2 zavírá úplně přívodní vedení a pak
- 2) V3 zavírá úplně zpětné vedení

Tato první sekvence redukuje vodní tlak ve formě a spojovacím potrubím k odtokovému tlaku.

3) V4 odvzdušňovací ventil je otevřený, nyní redukuje tlak ve formě a spojovacím potrubím na nulový tlak (atmosférický).

Toto je zvláště užitečné, kde jsou netěsnosti, např. potrubí, kování, atd., nebo dočasné přerušení cyklu.

4) V5 je zapnut a dodává stlačený vzduch do temperačních kanálů ve formě a tím vytlačí většinu temperačního média z formy, tím proběhne vyčištění temperačních kanálů. V5 je pak vypnut a ve spojovacím potrubí formy není temperovací kapalina. Forma nyní může být sejmuta a vyměněna ze vstřikovacího stroje s velmi malým únikem temperačního média.

2.7.5 Předehřívací jednotka /9/

Předehřívací jednotka je součást používaná pouze u impulsní temperace. Předehřívací jednotka slouží pro ohřev temperačního média před zahájením výroby a umožňuje využití výhod regulačního systému teploty i pro formy pro vstřikování tehdy, když:

- a.) spouštění ve studeném stavu není možné nebo
- b.) vstřikovací forma při studeném spouštění potřebuje příliš dlouhou dobu k tomu, aby se ohřála na provozní teplotu, která je potřeba pro dobrou kvalitu
- c.) nebo při delším přerušení, kdy klesne teplota formy pod pracovní teplotu.

Předehřívací jednotka od firmy Rhytemper typ VW-12.25.01 je zobrazena na obr. 2.47.

Parametry přehřívací jednotky VW- 12.25.01 jsou:



- výkonový stupně [kW]: 6/12, 12/18, 12/24.
- maximální příkon [kW]: 26.
- čerpadlo oběhové [kW]: 0,75/1,5.
- průměr připojovacího potrubí [palce]: 1, 1 ¼, 1 ½, 2“.

Obr. 2.47: Přehřívací jednotka od firmy Rhytemper typ VW-12.25.01. /9/

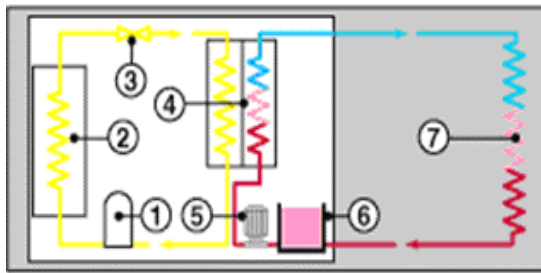
2.7.6 Řídící jednotka /8/, /9/, /12/

Řídící jednotka je nedílnou součástí temperačního systému. Řídící jednotka se liší podle toho, zda je použita při kontinuální nebo impulsní temperaci formy.

Při kontinuální temperaci lze použít dvě možnosti řízení teploty formy :

- A. Nepřímé řízení, kdy teplota formy je nastavena ručním ventilem, kterým protéká požadované množství temperovacího média, které udržuje formu na pracovní teplotě (velmi nepřesné a nespolehlivé, záleží na schopnosti litce a na dané teplotě okolí, která v průběhu pracovní doby stroje kolísá).
- B. Přímé řízení, kdy teplota a množství temperujícího media je řízena temperační jednotkou.

Temperační jednotka (viz. obr. 2.48), je používána při kontinuální temperaci formy. Je napojena na centrální temperovací systém, který umožní rychlý ohřev na pracovní teplotu a její udržení v požadované toleranci. Musí tedy disponovat dostatečným topným, chladícím a dopravním výkonem. Kromě topení, vhodného cirkulačního čerpadla (s dostatečnou dopravní kapacitou a potřebným provozním tlakem) a řadou zabezpečovacích prvků, umožňujících bezporuchový provoz.



1-kompresor, 2-kondenzátor,
3-expanzní ventil, 4-výparník,
5-čerpadlo, 6-zásobník na
médium, 7-spotřebič

Obr. 2.48: Schéma temperační jednotky. /12/

Řídící jednotka temperační jednotky umožňuje ovládat:

- chlazení a topení na základě žádané a skutečné teploty temperačního média, popř. teploty formy.
- hlídat úroveň hladiny teplotonosného média v temperovací jednotce
- dopouštění teplotonosného média
- signalizace nestandardních stavů
- vytlačovací a sací režim čerpadla
- zadávání a sledování procesů na displeji

Při impulsní temperaci je řízena pracovní teplota formy pomocí přesně vypočteného impulsu pro danou zónu. Velikost impulsu závisí na požadovaném množství odvedeného tepla z formy, která je regulována dobou a průtokem temperačního media. Velikost impulsu je dána dle referenční křivky, která je určena během deseti předchozích vstřikovacích cyklů.

Každá firma zabývající se impulsní temperací má vlastní řídicí jednotky s potřebným příslušenstvím, které má minimální kompatibilitu od jiných výrobců, a tím si zaručují, že bude použit jejich kompletní impulsní temperovací systém.



Obr. 2.49: Zobrazení řídicí jednotky ONI-Rhytemper-EDM (vlevo) a ONI-Rhytemper- UNIPULS (vpravo). /9/

Řídicí jednotky používané při impulsní temperaci jsou např.:

Parametry řídicí jednotky od firmy RHYTEMPER:

- počet řízených temperačních okruhů 3-23 u jednotky EDM
- počet řízených temperačních okruhů 3-48 u jednotky UNIPULS
- průměr připojovacího potrubí na centrální systém 1½“ a průměr připojovacího potrubí na řízený okruh ½“
- elektronická řídicí jednotka s ovládacím přes klávesnicí, zobrazovací displeje, paměť pro pracovní programy
- skříňová rozváděcí jednotka
- výkonnostní proudový rozvaděč stavebnicového typu s integrovaným průtokoměrem do každého temperovacího obvodu jakož i magnetický ventil
- termočlánek pro každý regulační obvod z FeCuNi nebo PT 100 včetně Y-adaptéru.

Řídící jednotka od firmy Cito model (PC 5).



Parametry řídící jednotky (MODEL PC5):

- ovládání až 5 temperačních okruhů
- rozsah teplot 160°C-220°C
- paměť až na 8 programů, samočinná regulace
- ovládání pomocí dotykového displeje
- zvuková signalizace, při nestandardní situaci
- propojení ventilů a teplotních senzorů

Obr. 2.50: Řídící jednotka od firmy Cito model (PC 5). /8/

Řídící jednotka firmy Cito model PCX .



Parametry řídící jednotky (MODEL PCX):

- ovládání 14 temperačních okruhů, z toho 10 okruhů chlazení / 4 okruhy ohřívací
- procesor typu Pentium 400Hz se základní deskou, paměť 128 SDRAM, pevný disk 10Gb
- ovládání pomocí 12“ barevného dotykového displeje
- zvuková signalizace, při nestandardní situaci,
- propojení ventilů a teplotních senzorů.

Obr. 2.51: Řídící jednotka firmy Cito model PCX. /8/

2.8 Popis a možnosti měření teploty

Pro měření teploty se používají teplotní snímače založené na mnoha principech. Teploměry se rozdělují na dvě základní skupiny, a to na dotykové, kdy je snímač v přímém kontaktu s měřeným objektem, a na bezdotykové.

2.8.1 Dotykové snímače teploty /13/

Termočláňkové snímače teploty

Termočláňky sestávají ze dvou nezbytných pásků nebo drátů z různých kovů, spojených na jednom konci. Změny teploty na tomto konci způsobují změnu termoelektrické síly mezi dvěma druhými konci. Jak teplota roste, vzrůstá také výstupní termoelektrická síla, avšak tato závislost není přesně lineární. Termočláňky typu J, K, T a E.



Obr. 2.52: Termočláňek typu K do teploty 315 °C. /13/

Snímače teploty se změnou odporu (RTD)

Snímače teploty se změnou odporu využívají změny elektrického odporu materiálu v závislosti na jeho teplotě. Dva klíčové typy jsou odporové teploměry a termistory. Odporové teploměry jsou založeny na změně odporu v kovu. Ten s teplotou více nebo méně lineárně vzrůstá. Termistory jsou založeny na změně odporu v keramickém polovodiči; odpor klesá nelineárně s rostoucí teplotou.



Obr. 2.53: Odporové teploměry Pt100 s přívodními vodiči se liší v provedení měřicího konce (uzavřený nebo krytý otevřený), s danou přesností, délkou sondy, materiálem přívodních vodičů nebo stínění. /13/

2.8.2 Bezdotykové snímače teploty /13/

Přístroje pro infračervené měření teploty

Infračervené snímače jsou bezdotykové přístroje. Tyto přístroje odvozují teplotu z měřené tepelné radiace emitované měřeným materiálem. Základní konstrukce většinou sestává z čočky k soustředění infračervené energie (IR) na detektor, který konvertuje tuto energii na elektrický signál, jenž může být zobrazen v jednotkách teploty po kompenzaci na teplotu okolí. Toto uspořádání usnadňuje měření teploty ze vzdálenosti bez dotyku s daným měřeným objektem. Proto se infračervené teploměry používají pro měření teploty v podmínkách, kde nemohou být použity termočlánky nebo jiné sondy se snímači, neboť by z různých důvodů neměřily přesně. Typické podmínky např. jsou, jestliže se objekt pohybuje nebo je obklopen elektromagnetickým polem, jako např. u indukčního ohřevu, nebo je objekt umístěn ve vakuu nebo jiné řízené atmosféře, nebo je u aplikace požadovaná rychlá odezva.

Na obr. 2.54 je zobrazen typ: OS530E-DM Série "E" s parametry:



- rozsah v teplotním rozsahu od -30°C až s teplotním rozsahem až do 870°C,
- vestavěné měření vzdálenosti pomocí vestavěného laserového zaměřovače
- emisivita nastavitelná od 0,1 do 1,00 po krocích 0,01
- podsvětlený displej LCD
- dvojřádkový digitální displej zobrazuje současnou teplotu společně s minimální, maximální, průměrnou teplotou nebo rozdílem teplot .

Obr. 2.54: Je zobrazen typ: OS530E-DM Série "E". /13/

Na další obr. 2.55 je DV-CAM Digitální kamera pro ruční infrateploměry série OMEGASCOPE® s parametry:



- barevný LCD displej 35,6mm
- 32MB Compact Flash paměťová karta
- USB port
- vestavěný mikrofon a reproduktor
- funkce kamery, fotoaparátu a záznamníku
- výstup na TV
- software pro Win98SE/XP
- DVCam správce Manager

Obr. 2.55: DV-CAM Digitální kamera série OMEGASCOPE®. /13/

3 Experimentální část

Účelem experimentální části diplomové práce bylo zhodnocení efektivnosti temperovacího systému na vybrané vstřikovací formě. K porovnání byla vybrána kontinuální a impulsní temperace. K analýze účinnosti zmíněných druhů temperace bylo použito snímání teplotního pole povrchu výstřiku pomocí termovizní kamery.

3.1 Experimentální měření teplotních polí

Vliv temperačního systému vstřikovací formy na proces nestacionárního sdílení tepla při chlazení výstřiku během procesu vstřikování je řešen metodou měření časových závislostí teplot ve vybraných místech vstřikovací formy, resp. teplotních polí na povrchu výstřiku.

Měřením teploty (teplotních polí) pomocí termovizních kamer se rozumí měření teplot na vybraných místech na tělese v časové závislosti. Nejvyužívanější způsob analýzy teplotních polí je v praxi experimentální způsob. Tato metoda je založena na možnosti popsat teplotní pole prostřednictvím elektrického pole. U tohoto nahrazení odpovídá teplotě elektrický potenciál, tepelné vodivosti elektrická vodivost, měřenému tepelnému toku intenzita elektrického proudu, apod.

3.2 Vybraný díl a materiál výrobku

Vybraný díl pro experimentální měření byl nosič výplně zadních dveří (viz obr. 3.1) vyráběný v Grupo Antolin Bohemia Turnov pro osobní automobil Škoda Octavia A5, který je montován v Mladé Boleslavi.



Obr. 3.1: Nosič výplně zadních dveří pro osobní automobil Škoda Octavia A5.

Jedná se o výrobek, který je vstřikován z polymerní směsi HOSTACOM od německého výrobce Basell. Materiál Hostacom X M2 U43 je kopolymer polypropylenu 16% minerálního plniva. Charakteristika materiálu, z kterého je výrobek vyroben, je v tab. 3.1.

Tab. 3.1: Parametry materiálu polypropylénu Hostacom X M2 U43.

Hostacom X M2 U43			
Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Norma
Hustota při 23°C	g/cm ³	1,00-1,04	DIN 53 479
Obsah plniva	%	16 +/-2	DIN EN ISO 1172
Index toku taveniny (MVR 230/2,16)	cm ³ / 10 min	9,5-15,5	ISO 1133
Mechanické vlastnosti:			
Mez kluzu (50 mm/min)	MPa	min.20	ISO 527-2
Tažnost (50 mm/ min)	%	min.4	ISO 527-2
Modul pružnosti v tahu	MPa	min.1800	DIN EN ISO 178
Rázová houževnatost (+23°C)	kJ/m ²	N.B.	ISO 179-1
Vrubová houževnatost (+23°C)	kJ/m ²	min.25	ISO 179-1
Technologické vlastnosti:			
Smrštění (podélné)	%	1,1±0,1	Interní metoda
Hořlavost	dle TL 1010		
Emisní vlastnosti	dle VW 501 80		

3.3 Vstřikovací stroj /11/, /16/

Vstřikovací stroj, na kterém bylo provedeno měření, byl od firmy Krauss Maffei, která vyrábí vstřikovací lisy s vyspělou technologií. Firma ji posbírala za 65 let své existence na poli průmyslu při zpracování plastů. V automobilovém průmyslu se používají vstřikovací lisy série MX, které disponují uzavírací silou od 8000 kN až do 40 000 kN a vstřikovací kapacity od 1647 gramů až po 39 469 gramů. Použitý stroj měl označení KM 2300 MX/ SP 17200 a byl vybaven manipulátorem a dopravníkem. Stroj je složen z uzavírací jednotky KM 2300 s maximální uzavírací silou 23000 kN a vstřikovací jednotky SP 17200 s průměrem šneku 120 mm a nominálními otáčkami 83 1/min až maximálními otáčkami 113 1/min.. Vstřikovací

jednotka má vstřikovací kapacitu 7634 cm³ a vstřikovací tlak dosahující až 2258 barů.

Tab. 3.2: Technické parametry vstřikovacího stroje Krauss Maffei.

Parametry vstřikovacího stroje KM 2300 MX/SP 17200	
Maximální uzavírací síla [kN]	23 000
Průměr šneku [mm]	120
Maximální otáčky [1/min.]	113
Vstřikovací kapacita [cm ³]	7634
Vstřikovací tlak [bar]	2258

Technologické parametry, nastavené na stroji při výrobě nosiče výplně zadních dveří Škody Octavia A5, jsou uvedené v tab. 3.3.

Tab. 3.3: Technologické hodnoty nastavené na stroji KM 2300MX/ SP 17200.

Technologické parametry	
Teploty [°C]	
Špička	235
Válec	240-240-230-220-210-200-190
Pod násypkou	40
Tlaky [bar]	
Uzavírací síla	18 000kN
Vstřikovací tlak	1500
Dotlak	480-400-300-200
Odpor šneku	40
Časy [s]	
Vstřik	6,2
Dotlak	0,5-3,5-1,5-2,5
Plastikace	19
Doba chlazení	30
Cyklus	70
Dráhy [mm]	
Plastikace	248
Polštář	54

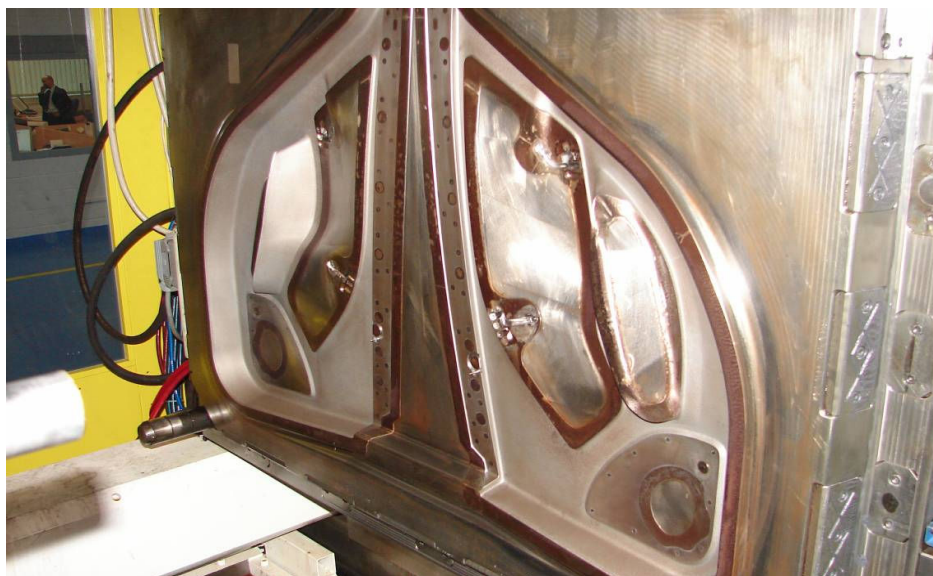
Při zrychleném vstřikovacím cyklu byly tyto parametry změněny a porovnány s parametry dlouhého cyklu jak je uvedeno v tab. 3.4:

Tab. 3.4: Porovnání parametrů pro dlouhý a krátký cyklus.

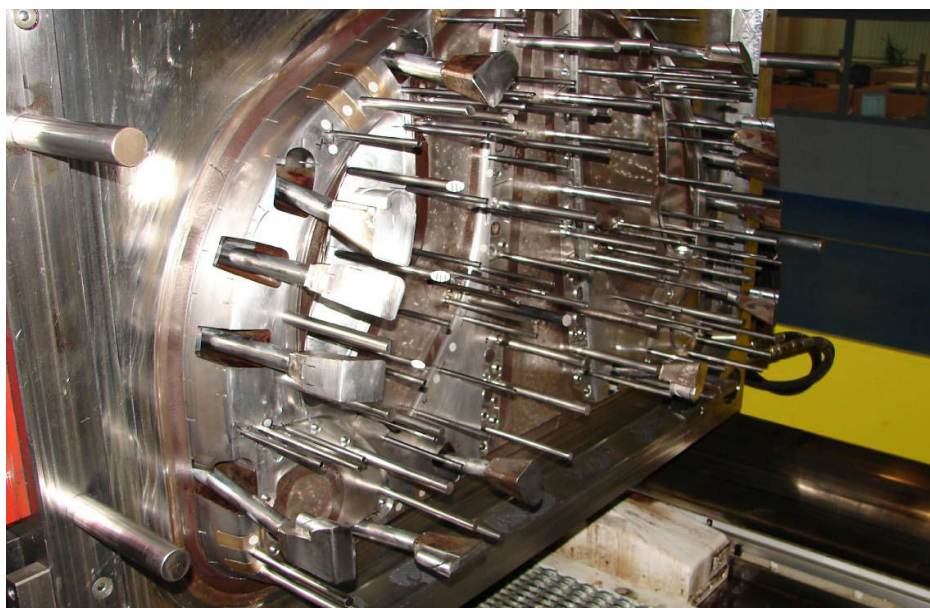
cyklus	Cyklus „zrychlený“	Cyklus původní „dlouhý“
Doba cyklu	53,2s \pm 3s	72,2s \pm 3s
Doba chlazení	15s \pm 5s	30s \pm 5s
Pauza	5,45s	10s
Otáčky šneku	110 1/min.	80 1/min.
Doba plastifikace	13,7s \pm 0,5s	19s \pm 0,5s
Zavírání nástroje	750 mm/s	600 mm/s
Otvírání nástroje	730 mm/s	720 mm/s

3.4 Vstřikovací forma

Výrobek se vstřikuje do dvojnásobné formy s jednou dělicí rovinou technologií kaskádového vstřikování se třemi tryskami pro každý výstřik. Zobrazená je tvárnice na obr.3.2 a tvárník na obr 3.3.

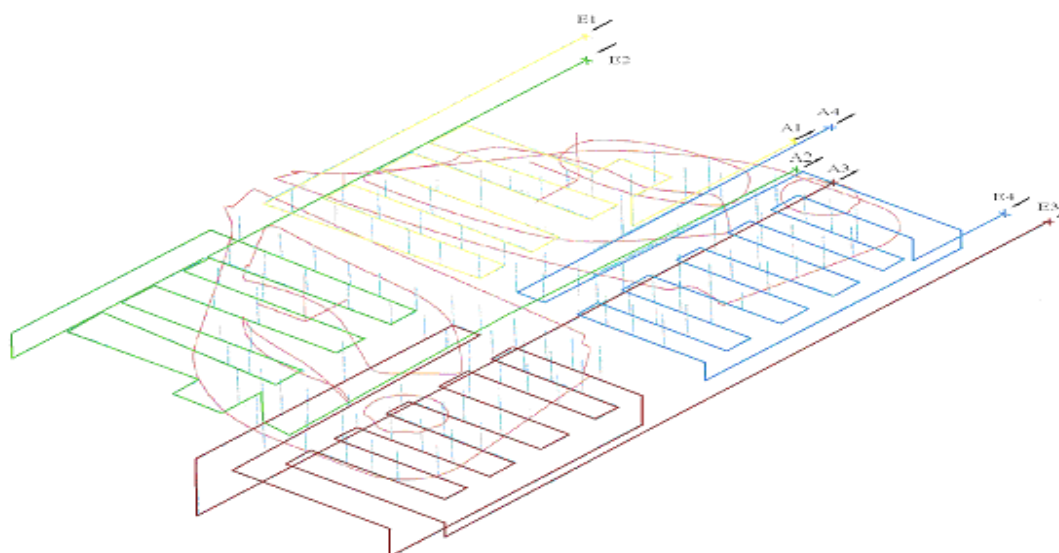


Obr. 3.2: Tvárnice od firmy WFS-WERKZEUG UND FORMENBAU SCHMIDT GmbH.

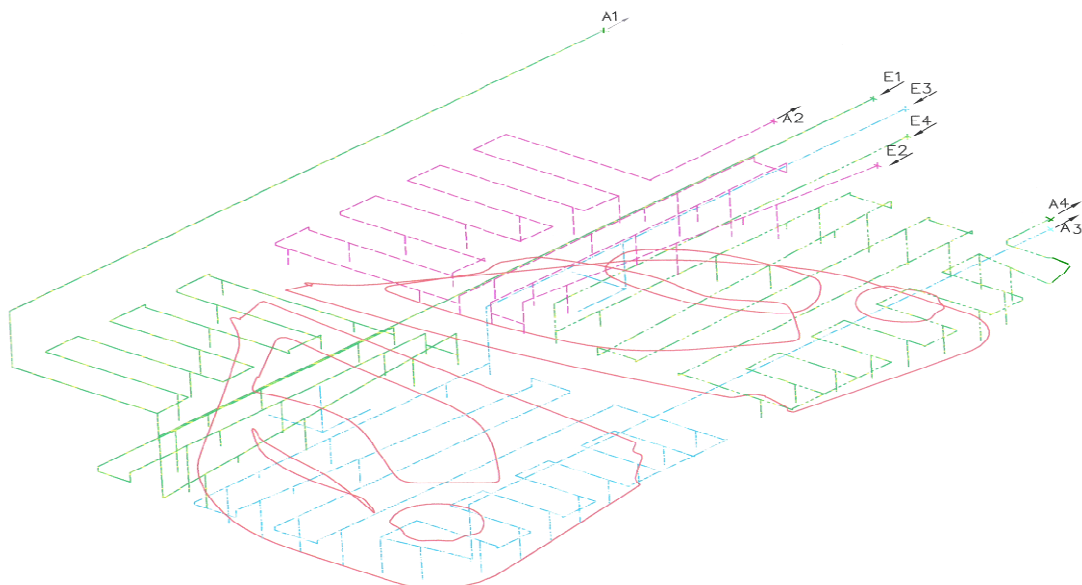


Obr. 3.3: Tvárník od firmy WFS-WERKZEUG UND FORMENBAU SCHMIDT GmbH.

K temperování formy je použito temperačních kanálů s temperačním médiem, kterým byla voda. Schéma temperačních okruhů uvnitř nástroje pro stranu tvárnice a tvárníku ukazují obr. 3.4 a obr. 3.5, kde E značí vstup a A výstup média z temperačního okruhu vstříkovací formy.



Obr. 3.4: Pevná strana (tvárnice) s temperovacími kanály v tvárnici se 4-mi temperovacími kanály zobrazenými dle schématu, a jedním nezobrazeným, který chladí kaskádový vstříkovací systém .



Obr. 3.5: Pohyblivá strana (tvárník) s temperovacími kanály v tvárníku se 4-mi temperovacími kanály zobrazenými dle schématu, a dvěma nezobrazenými, které chladí vyhazovací systém.

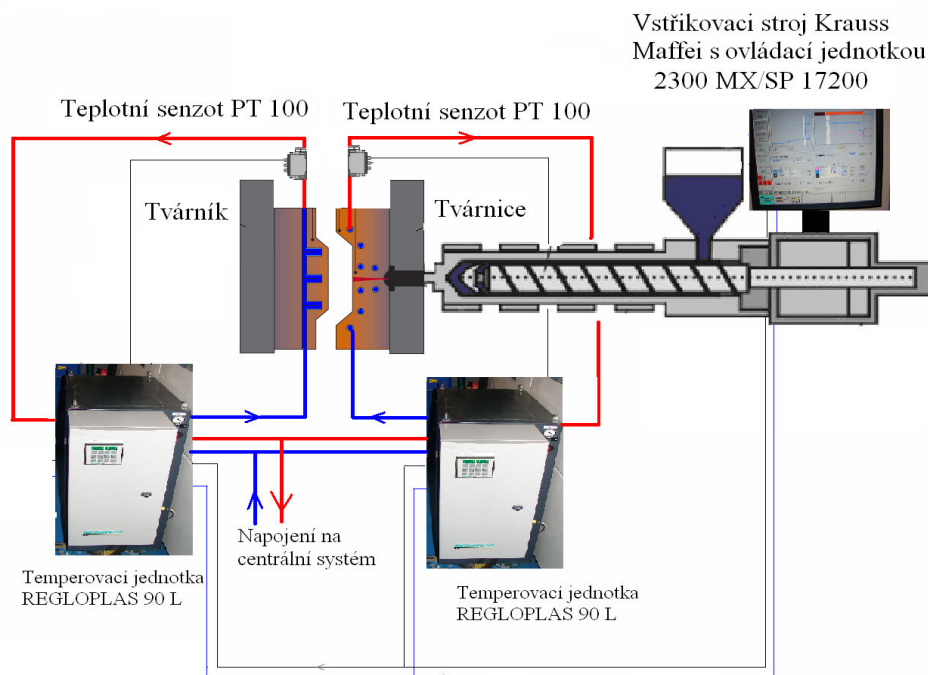
Experiment byl nejprve prováděn při kontinuální temperaci, kde byly použity dvě stejné temperační jednotky (viz obr. 3.6), jak pro tvárník, tak pro tvárnici. Temperační jednotky byly použity od firmy Regloplast, typ 90L, s těmito parametry:



- Teplonosné medium voda s objemem náplně 26 l s expanzním objemem 6 l.
- Topný výkon při 400V 8-16 kW, chladicí výkon 160kW při teplotě chladicí výstupní smyčky 80 °C.
- Výkon čerpadla typ CR5-8, max. čerpané množství 140 l/min.při tlaku 5,4 bar a příkonu 1,1 kW.
- Použita regulace RT50 (profukování nástroje), se standardními senzory Pt 100 při výstupu temperačního média z formy.

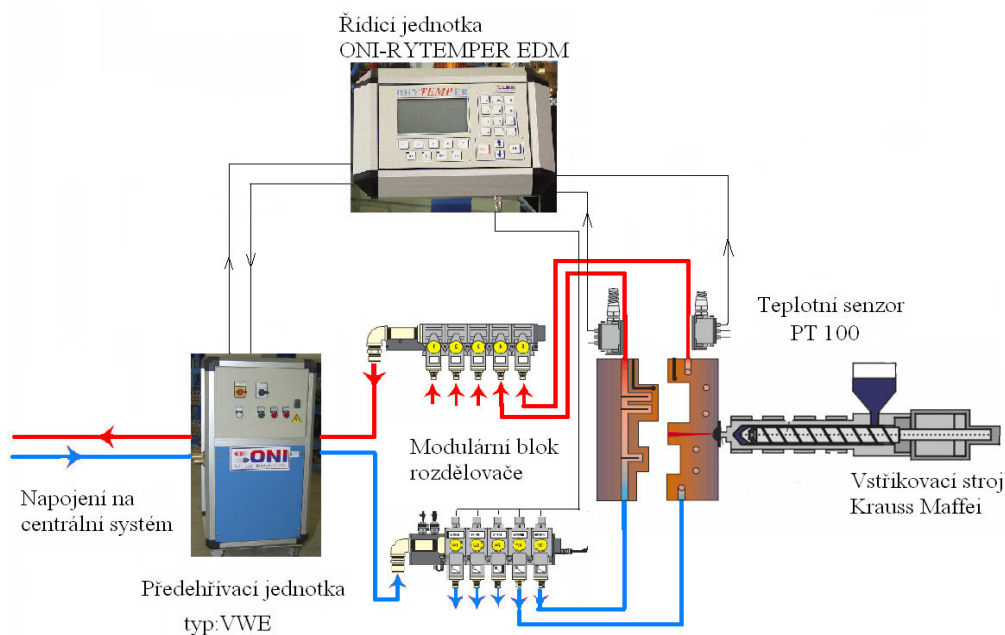
Obr. 3.6: Temperační jednotka od firmy Regloplast typu 90L.

Schéma systému kontinuální temperace s dvěma temperačními jednotkami Regloplast 90L je na obr. 3.7.



Obr. 3.7: Schéma zařízení systému kontinuální temperace s dvěma temperačními jednotkami Regloplast 90L .

Následně byl experiment proveden s impulsní temperací, kde impulsní zařízení bylo od firmy Rhytemper, s řídicí jednotkou typu EDM. Schéma systému impulsní temperace od firmy Rytemper je na obr. 3.8.



Obr. 3.8: Schéma systému impulsní temperace od firmy Rytemper.

3.5 Infračervené snímání teploty /12/, /14/

Infračervený zobrazovací systém ThermaCAMTM P65 firmy FLIR SYSTEMS AB zahrnuje infračervenou kameru s vestavěným 24 ° objektivem, vizuální barevnou kameru, laserové ukazovátko, infračervené komunikační spojení, barevný 4 palcový LCD displej na odnímatelném dálkovém ovládání a příslušenství.



Obr. 3.9: ThermaCAMTM P65. /12/

Zaznamenané snímky je možné ukládat v digitální podobě a dále upravovat pomocí PC. ThermaCAMTM P65 má jeden nechlazený mikrobolometrický detektor čtvrté generace, umožňující snímání teplotních polí s rozlišením 320 x 240 pixelů. Termokamera zaznamenává spektrum záření od 7,5 μm do 13 μm , frekvencí 60 Hz a citlivost 0,08 °C při 30 °C.

3.6 Průběh měření

Teplotní pole povrchu výstřiku byla měřena pomocí termovizní kamery ThermaCAMTM P65. Měření bylo provedeno při dvou různých teplotách formy:

- Kontinuální teplota (teplotní jednotkou)
- Impulsní teplota

Měření teplotních polí neproběhlo ihned po otevření formy, ale z bezpečnostních důvodů až po 40 s po otevření formy, protože díl byl vyjmut z formy a přemístěn manipulátorem na dopravní pás odtud byl výrobek odebrán a přemístěn na měřicí místo, kde proběhlo změření teplotních polí (viz obr. 3.10).



Obr. 3.10: Zobrazení prostoru kde probíhalo měření s termovizí.

Pro co nejpřesnější výsledky bylo nutné mít minimální prodlevu od otevření formy a snímání teplotních polí. Místo pro snímání snímku termovizí muselo být odstíněno, aby výsledek nebyl zkreslen jinými tepelnými zdroji v místnosti. Nastavené hodnoty při snímání snímku termovizní kamerou ThermaCAMTM P65 IR jsou v tab. 3.5.

Tab. 3.5: Nastavených hodnot při snímání termovizní kamerou ThermaCAMTM P65 IR.

Objektový parametr	Hodnota
Emisivita (zářivost)	0,98
Vzdálenost předmětu	2,5 m
Teplota okolí	26,0°C
Referenční teplota	20,0°C

Pro vyhodnocení a úpravu snímků s výsledky bylo provedeno za pomoci programu ThermaCAM Reporter 2000 Pro.



Obr. 3.11: Pohled pro snímání teplotních polí na zvoleném výrobku: nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5.

3.7 Zpracování výsledků měření

Měření byla provedena při dvou popsáných způsobech temperace. U kontinuální i impulsní temperace byl celkový cyklus dlouhý 72,2 s, následně celkový cyklus byl zkrácen na 52,2 s. U impulsní temperace bylo navíc provedeno zvýšení odvodu tepla (energie) o 25 %, jak u délky cyklu 72,2 s, tak i u kratšího cyklu 52,2 s. V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé druhy chlazení se snímky teplotního pole (viz obr. 3.11) s rozsahem teplot $20 \div 80$ °C. Snímky jsou proloženy přímkami, které slouží ke grafickému vyhodnocení teplot v závislosti na poloze dané přímkou, vnesené do experimentálně určených teplotních polí na výstřiku. Dále jsou snímky teplotních polí zpracovány tak, že přes teplotní pole výrobku je proložený grafický obrazec pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku mimo místa vtoku. Dále jsou snímky zobrazeny v 3D pohledu pro dokonalejší zobrazení teplotního pole na výstřiku.

3.7.1 Temperování temperační jednotkou

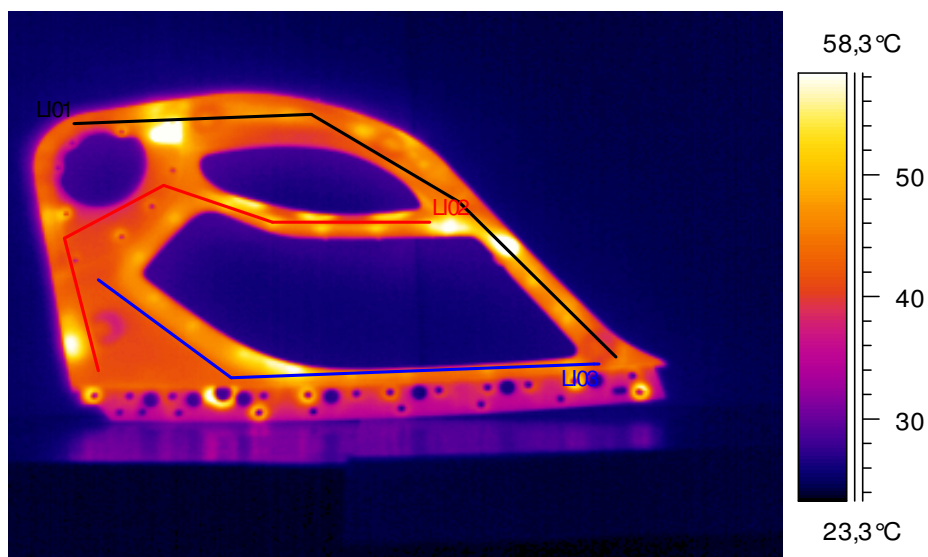
Při temperování temperační jednotkou je možno teplotu temperačního média regulovat pouze za pomoci tohoto zařízení. Při temperaci formy byly použity dvě temperační jednotky, každá pro jednu část formy pro pohyblivou a pevnou část. Teplota požadovaná na tvárníku byla $30 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ a na tvárnici $20 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$.

Snímky teplotních polí na povrchu výrobku jsou zachycené na obr. 3.12 a obr. 3.16, které jsou proloženy přímkami. Pomocí grafů na obr. 3.13 a obr. 3.17 jsou znázorněny průběhy naměřených teplot v závislosti na poloze dané přímkou, vnesené do experimentálně určených teplotních polí na výstřiku.

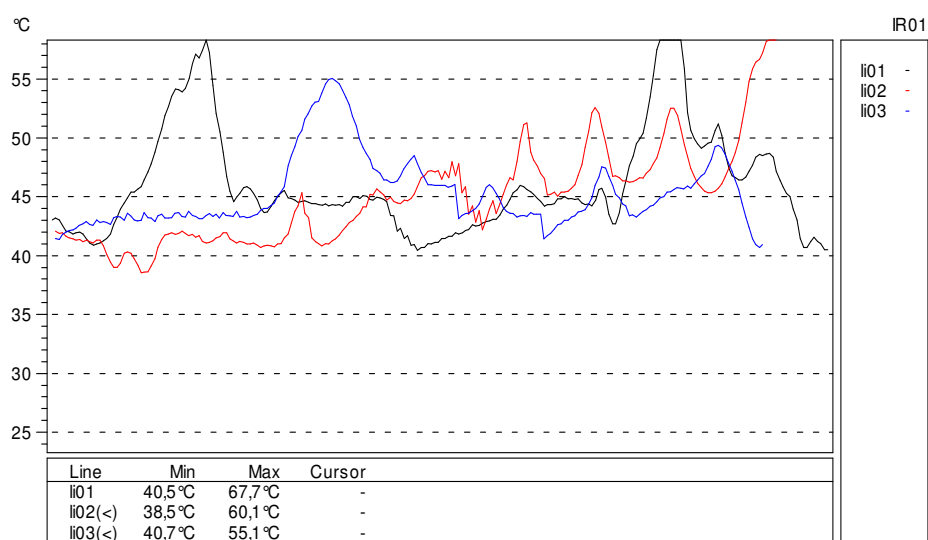
Snímky teplotních polí, zobrazených na obr. 3.14 a obr. 3.18, jsou zpracovány proloženým grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku mimo místa vtoku.

Snímky teplotních polí zobrazených na obr. 3.15 a obr. 3.19 jsou v 3D pohledu pro přehledné zobrazení teplotního pole výstřiku.

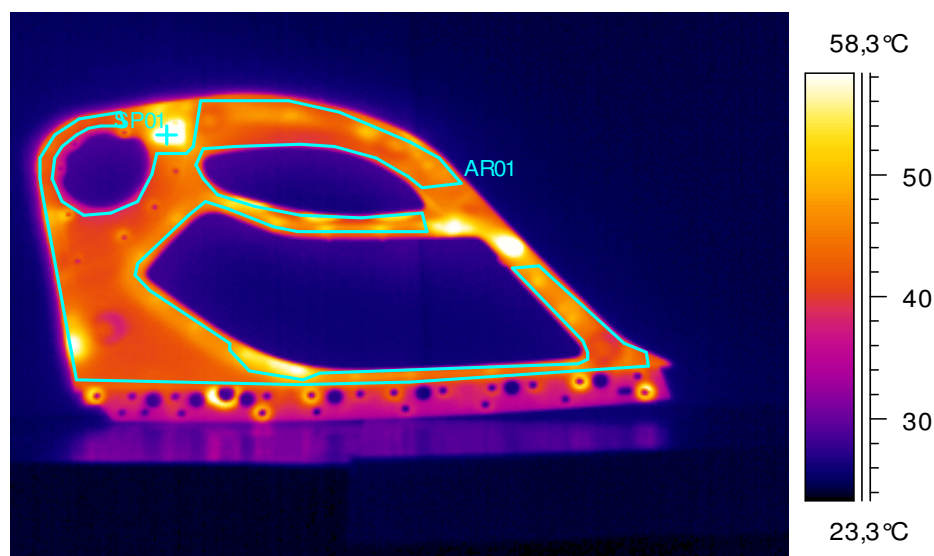
Kontinuální temperace, kdy vstřikovací cyklus byl 72,2 s a s dobou chlazení 30s.



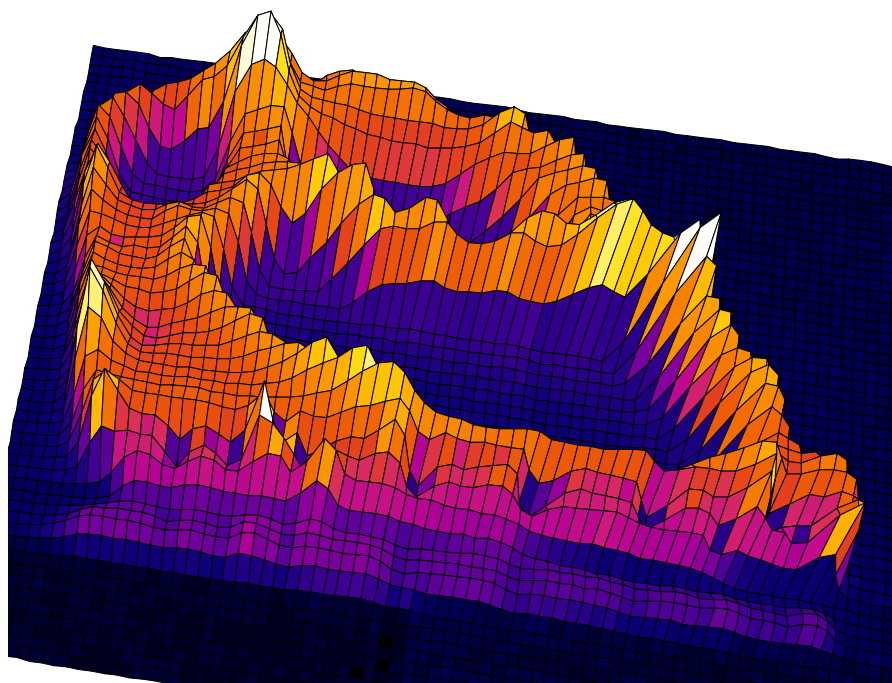
Obr. 3.12: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. Čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí temperačního zařízení.



Obr. 3.13: Graf průběhu teplot v závislosti na poloze a přímce Li01, Li02 a Li03 pro čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí temperačního zařízení.

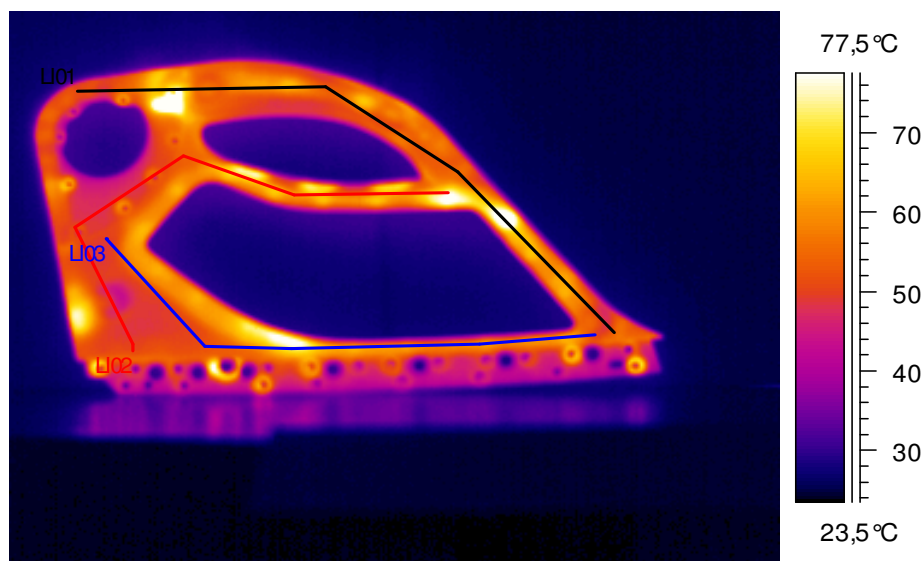


Obr. 3.14: Rozložení teplotního pole na čelním pohledu výstříku je zpracováno proložením grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstříku mimo místa vtoku.

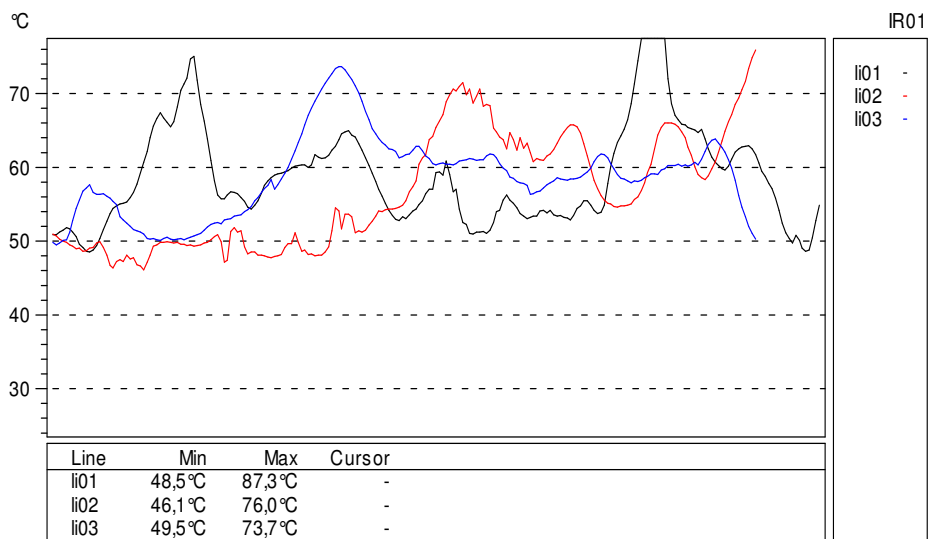


Obr. 3.15: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. 3D pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí temperačního zařízení.

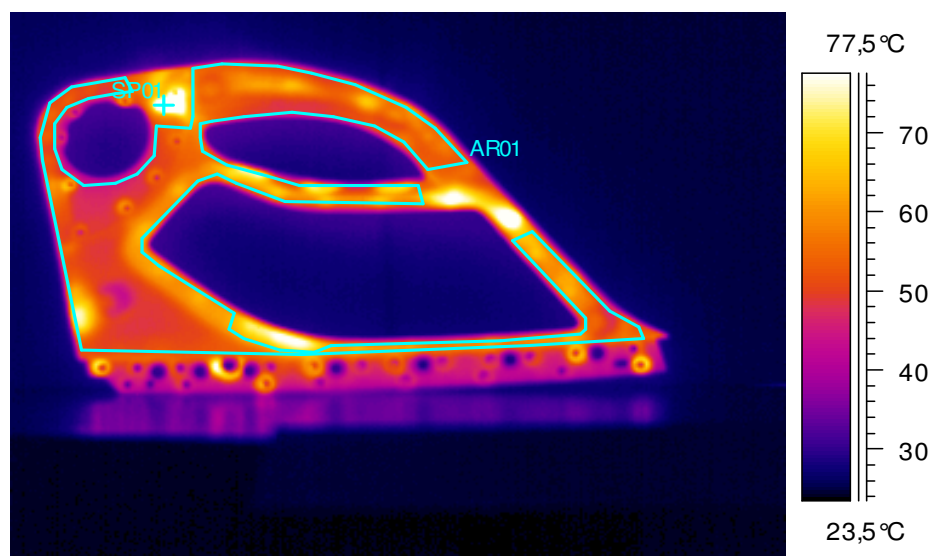
Kontinuální teploty, kdy vstřikovací cyklus byl 52,2 s a s dobou chlazení 15s.



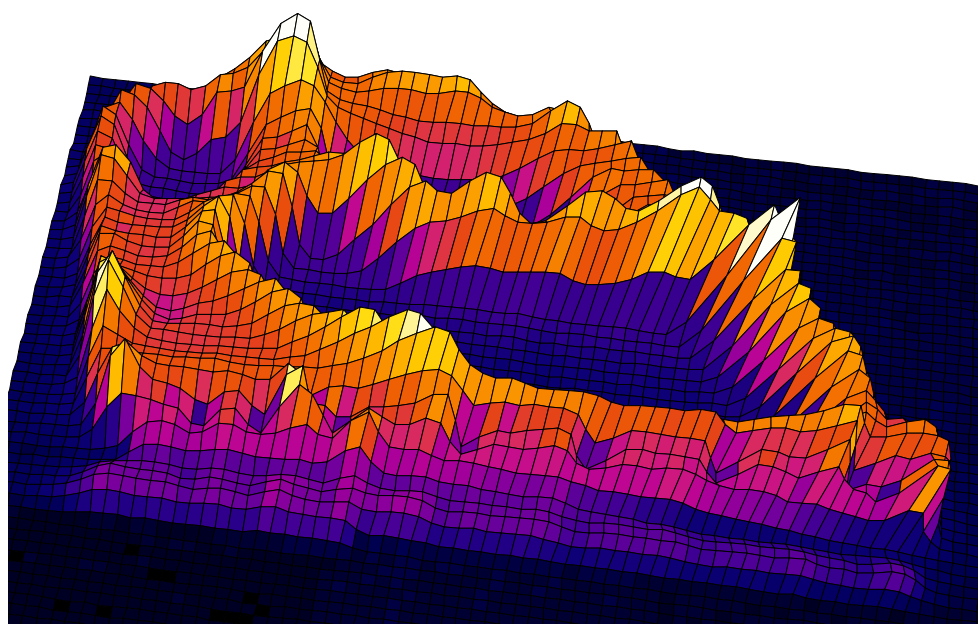
Obr. 3.16: Rozložení teplotního pole na povrchu výstřiku. Čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí temperačního zařízení.



Obr. 3.17: Graf průběhu teplot v závislosti na poloze a přímce Li01, Li02 a Li03 pro čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí temperačního zařízení.



Obr. 3.18: Rozložení teplotního pole na čelním pohledu výstřiku je zpracováno proložením grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku, mimo místa vtoku.



Obr. 3.19: Rozložení teplotního pole na povrchu výstřiku. 3D pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí temperačních zařízení.

3.7.2 Temperování impulsním chlazením

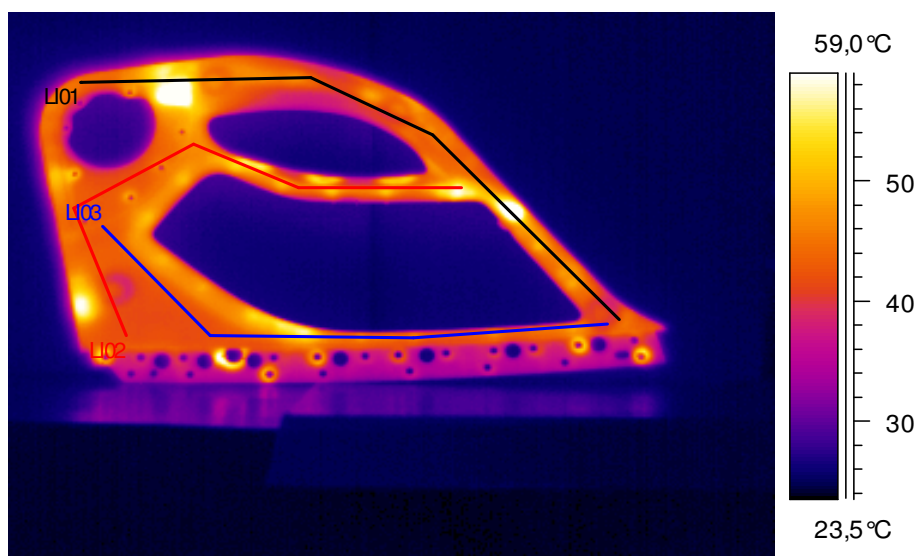
Při impulsní temperaci byla teplota formy udržována pouze prostupem tepla ze vstřikovaného plastu do dutiny formy a impulsně vstřikované studené vody do chladících okruhů pomocí řídicí jednotky. Požadovaná teplota byla stejná jako při předchozí temperaci, tedy tvárník 30 °C a tvárnici 20 °C.

Snímky teplotních polí povrchu jsou zachycené na obr. 3.20, obr. 3.24, obr. 3.28 a obr. 3.32, které jsou proloženy přímkami. Pomocí grafů na obr. 3.21, obr. 3.25, obr. 3.29 a obr. 3.33 jsou znázorněny průběhy naměřených teplot v závislosti na poloze dané přímk, vnesené do experimentálně určených teplotních polí na výstřiku.

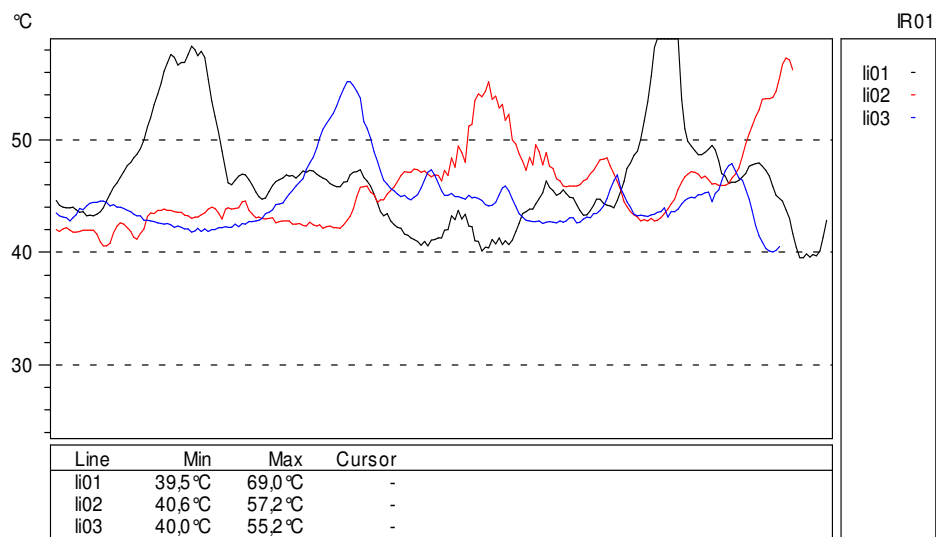
Snímky teplotních polí, zobrazený na obr.3.22, obr. 3.26, obr. 3.30 a obr. 3.34 jsou zpracovány proloženým grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku, mimo míst vtoku.

Snímky teplotních polí zobrazených na obr.3.23, obr. 3.27, obr. 3.31 a obr. 3.35 jsou v 3D pohledu pro přehledné zobrazení teplotního pole výstřiku.

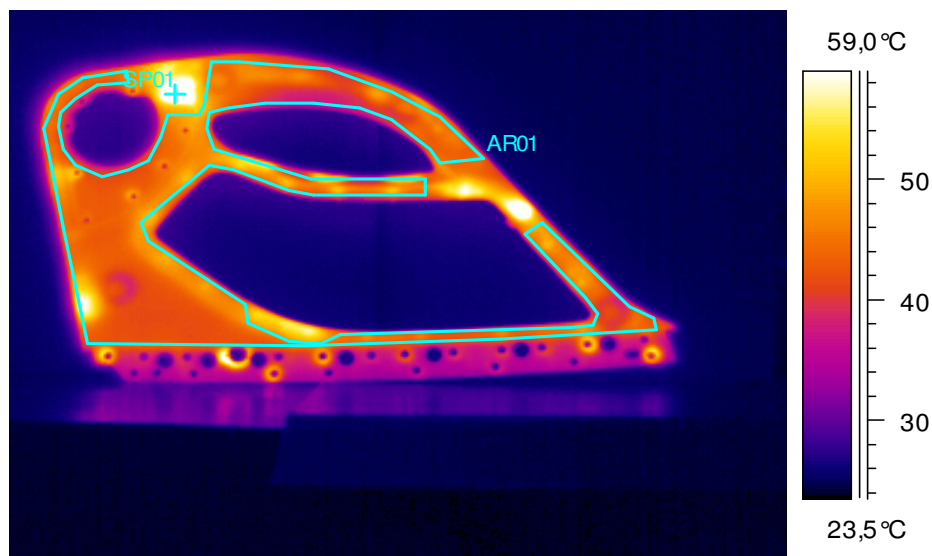
Impulsní temperace, kdy vstřikovací cyklus byl 72,2 s.



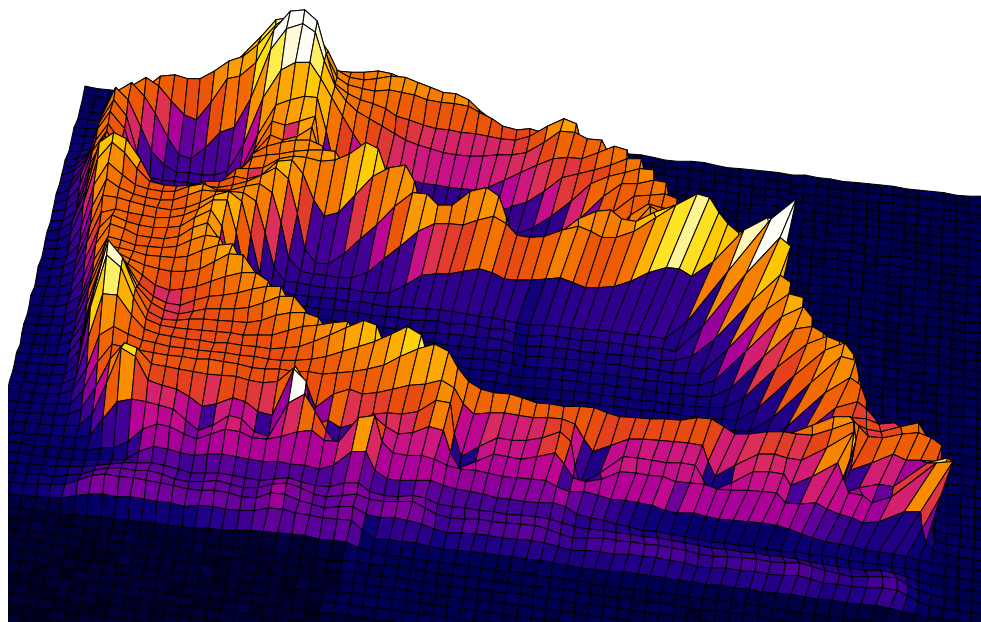
Obr. 3.20: Rozložení teplotního pole na povrchu výstřiku. Čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.



Obr. 3.21: Graf průběhu teplot v závislosti na poloze a průmce Li01, Li02 a Li03 pro čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

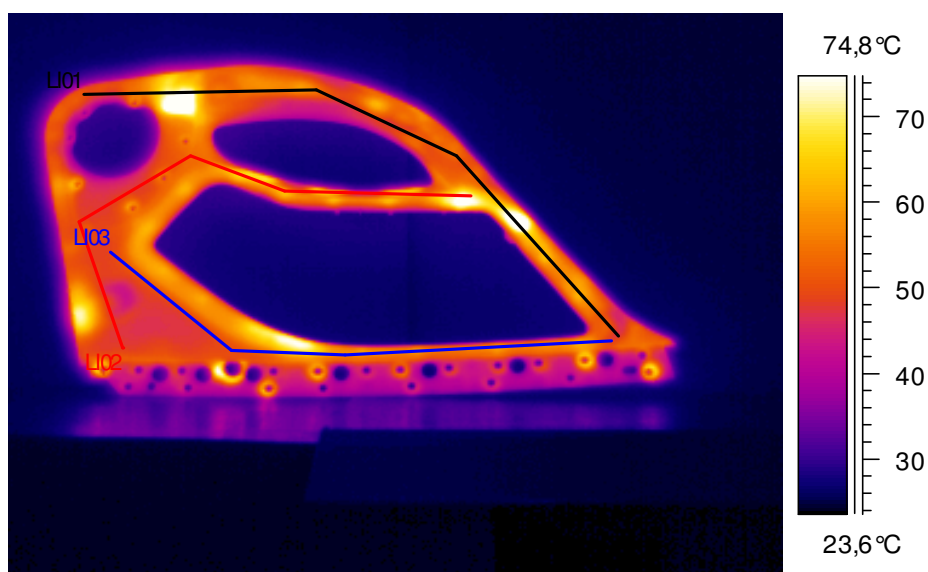


Obr. 3.22: Rozložení teplotního pole na čelním pohledu výstřiku, je zpracováno proložením grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku mimo místa vtoků.

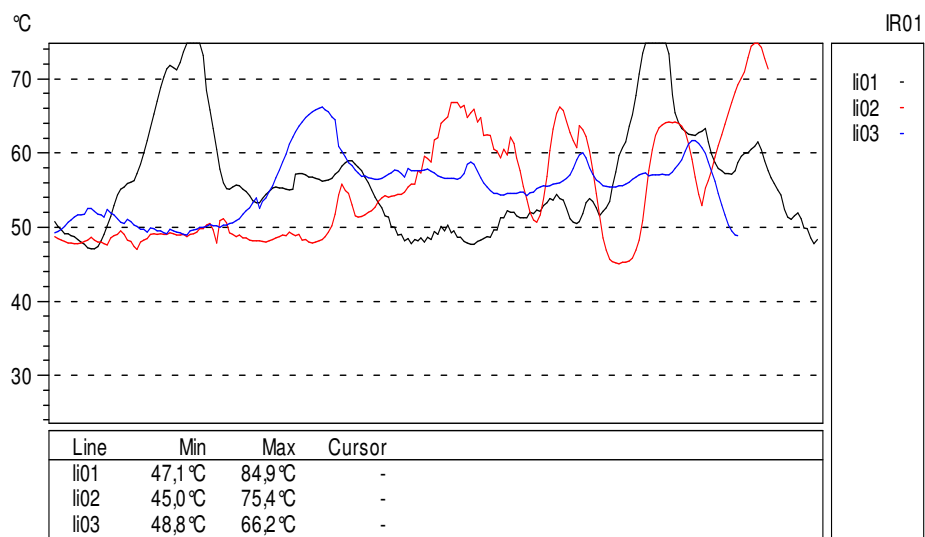


Obr. 3.23: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. 3D pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

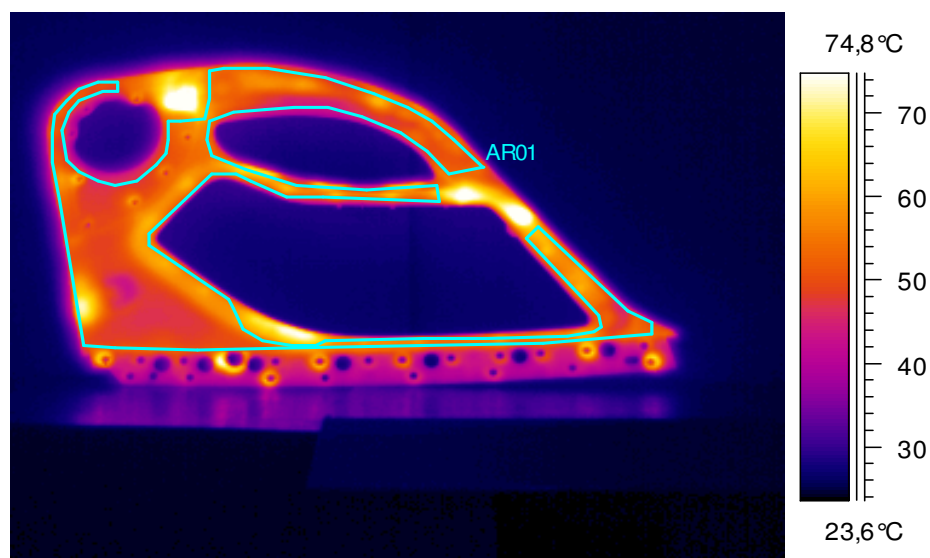
Impulsní temperace, kdy vstřikovací cyklus byl 52,2 s.



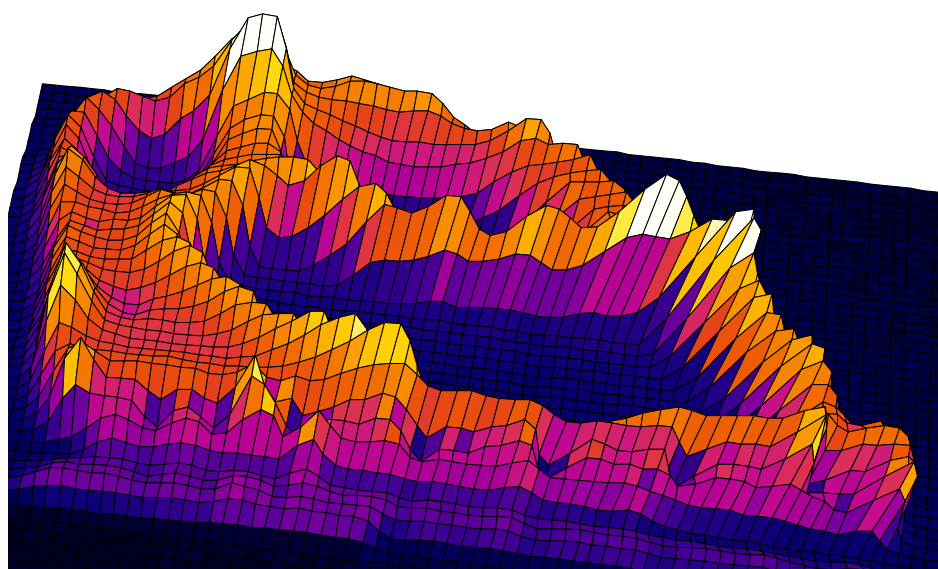
Obr. 3.24: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. Čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.



Obr. 3.25: Graf průběhu teplot v závislosti na poloze a přímce Li01, Li02 a Li03 pro čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

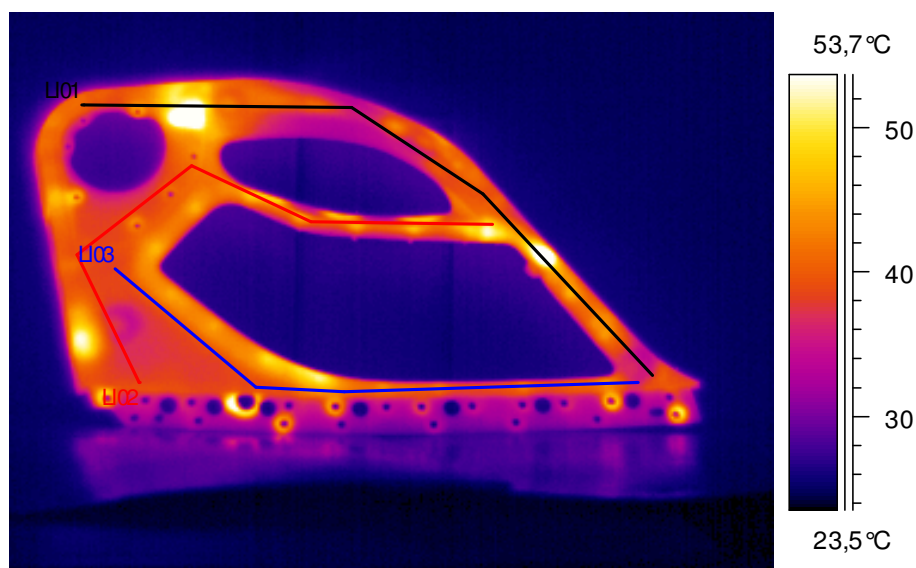


Obr. 3.26: Rozložení teplotního pole na čelním pohledu výstřiku, je zpracováno proložením grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku mimo místa vtoků.

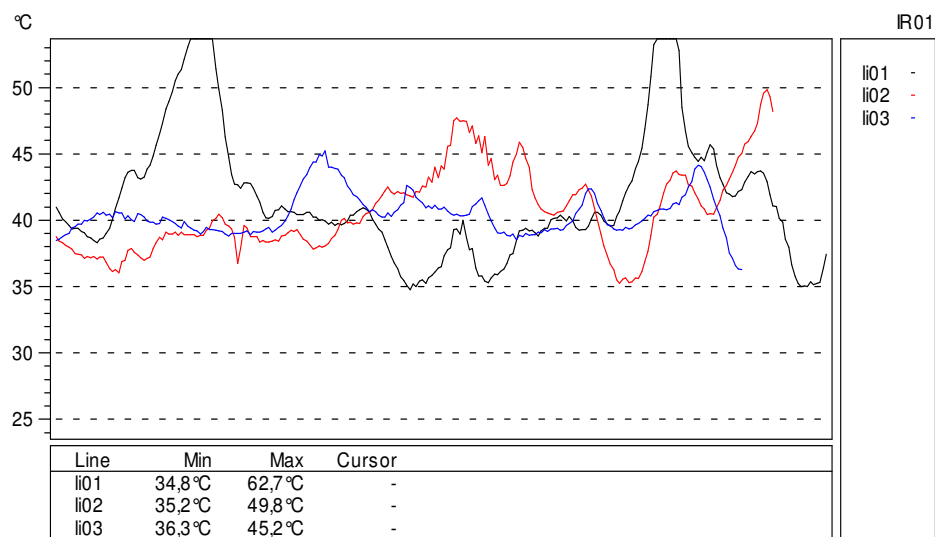


Obr. 3.27: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. 3D pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

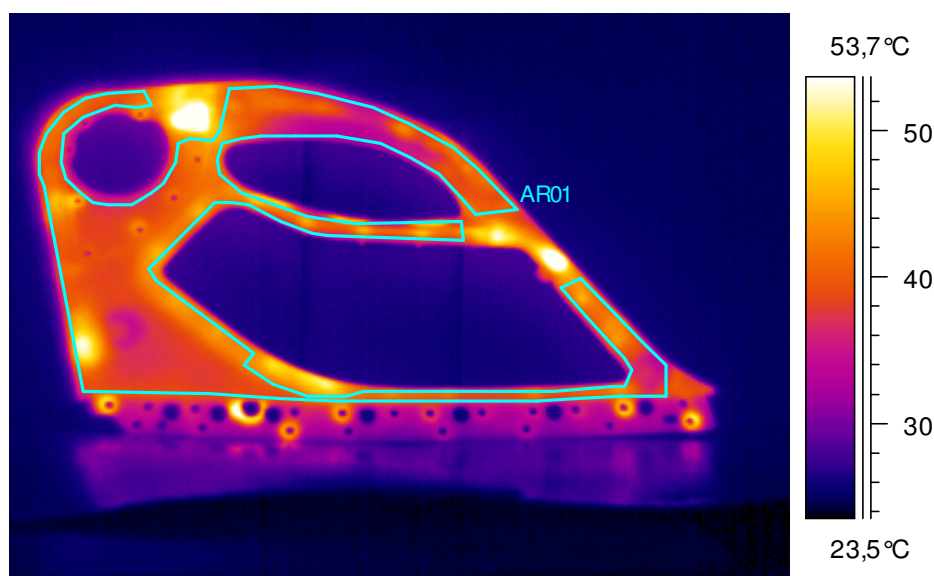
Impulsní teploty, kdy vstřikovací cyklus byl 72,2 s a zároveň byl zvýšený odběr tepla z plastu o 25% oproti původnímu nastavení. Toho bylo dosaženo kombinací zvýšení průtoku média a prodloužení doby chlazení.



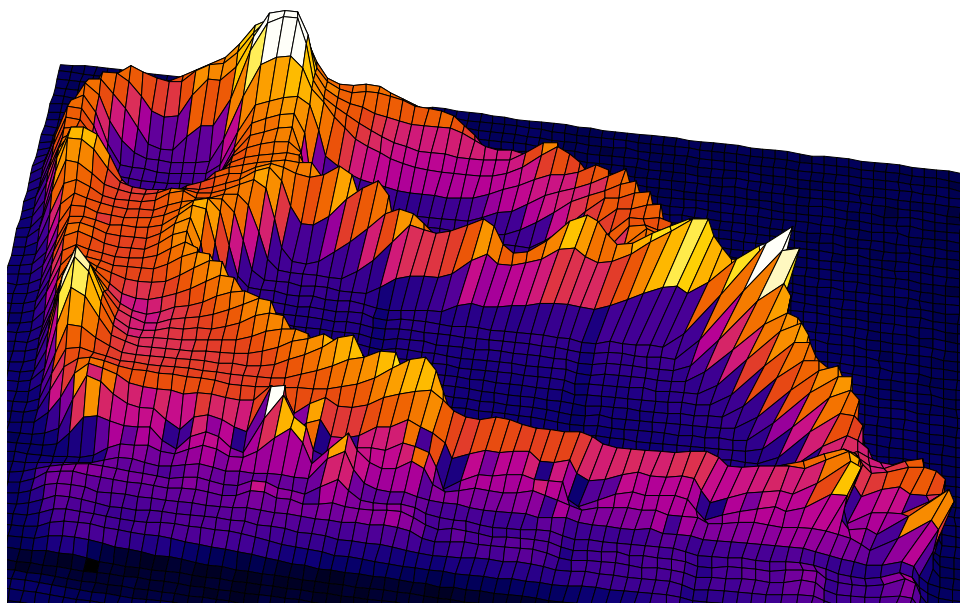
Obr. 3.28: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. Čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.



Obr. 3.29: Graf průběhu teplot v závislosti na poloze a přímce Li01, Li02 a Li03 pro čelní pohled na nosiče výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

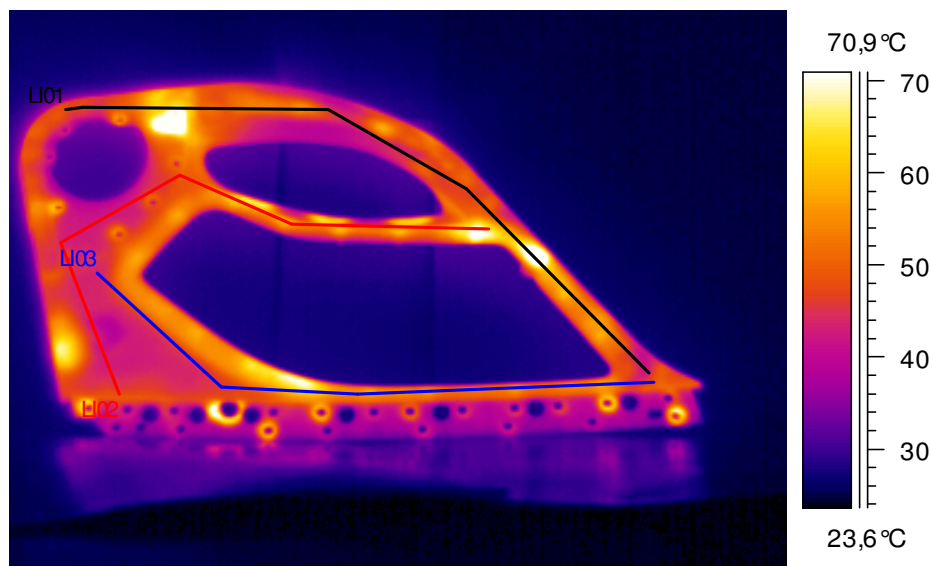


Obr. 3.30: Rozložení teplotního pole na čelním pohledu výstřiku, je zpracováno proložení grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku mimo místa vtoku.

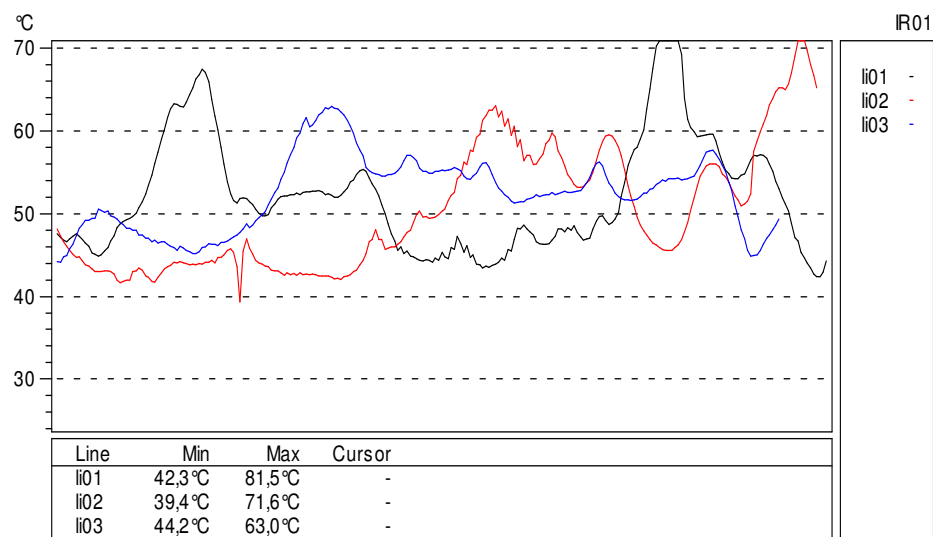


Obr. 3.31: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. 3D pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

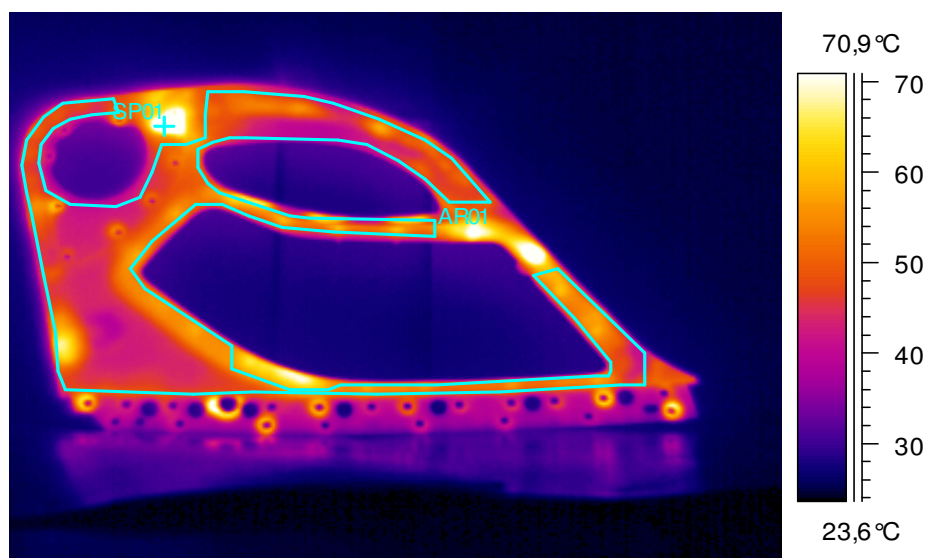
Impulsní chlazení , kdy vstřikovací cyklus byl 52,2 s a zároveň byl zvýšený odběr tepla z plastu o 25% oproti původnímu nastavení. Toho bylo dosaženo kombinací zvýšení průtoku média a prodloužení doby chlazení.



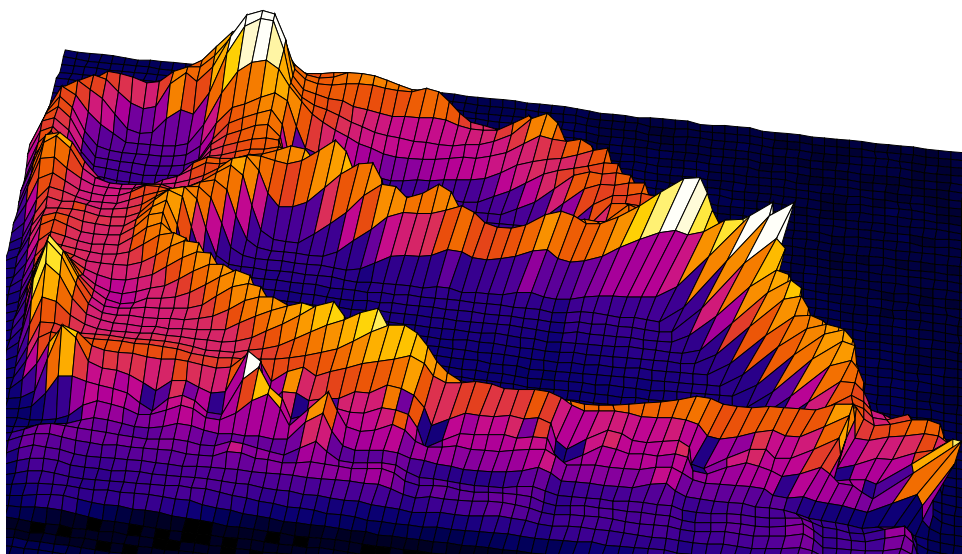
Obr. 3.32: . Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. Čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.



Obr. 3.33: Graf průběhu teplot v závislosti a poloze na přímce Li01, Li02 a Li03 pro čelní pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.



Obr. 3.34: Rozložení teplotního pole na čelním pohledu výstřiku je zpracováno proložením grafickým obrazcem pro určení průměrné, maximální a minimální teploty po celém povrchu výstřiku mimo místa vtoku.



Obr. 3.35: Rozložení teplotního pole na povrchu výstříku. 3D pohled na nosič výplně zadních dveří Škody Octavia A5 při chlazení pomocí impulsního chlazení.

3.8 Shrnutí výsledků měření

Při hodnocení kontinuální temperace vstřikovací formy použité pro experiment, byly použity temperační jednotky firmy Regloplas 90L.

Kontinuální temperace, pro vstřikovací cyklus 72,2 s a s časem chlazení 30 s. Výstřik vykazoval teplotní rozdíly povrchu v jednotlivých místech výstřiku po proložení grafického obrazce (mimo místa umístění vtoků) s rozdílem teplot až 22,2 °C a průměrnou teplotou 44,2 °C. Přičemž nejvyšší teplota dosahovala 59,0 °C a minimální teplota dosahovala 36,7 °C. V místě vyústění toku dosahovala teplota maxima 78,2 °C.

Kontinuální temperace, pro vstřikovací cyklus 52,2 s a s časem chlazení 15 s. Výstřik vykazoval teplotní rozdíly povrchu v jednotlivých místech výstřiku po proložení grafického obrazce (mimo místa umístění vtoků) s rozdílem teplot až 35,3 °C a průměrnou teplotou 55,0 °C. Přičemž nejvyšší teplota dosahovala 75,9 °C a minimální teplota dosahovala 40,6 °C. V místě vyústění vtoku dosahovala teplota maxima 104,1 °C.

Při hodnocení impulsního chlazení vstřikovací formy stejné jako při kontinuální temperaci použité pro experiment, bylo použito zařízení od firmy Rhytemper.

Impulsní chlazení, pro vstřikovací cyklus 72,2 s. Výstřik vykazoval teplotní rozdíly povrchu v jednotlivých místech výstřiku po proložení grafického obrazce (mimo místa umístění vtoků) s rozdílem teplot až 22,9 °C a průměrnou teplotou 44,4 °C. Přičemž nejvyšší teplota dosahovala 59,5 °C a minimální teplota dosahovala 36,6 °C. V místě vyústění vtoku dosahovala teplota maxima 79,4 °C.

Impulsní chlazení, pro vstřikovací cyklus 52,2 s. Výstřik vykazoval teplotní rozdíly povrchu v jednotlivých místech výstřiku po proložení grafického obrazce (mimo místa umístění vtoků) s rozdílem teplot až 29,8 °C a průměrnou teplotou 52,9 °C. Přičemž nejvyšší teplota dosahovala 73,0 °C a minimální teplota dosahovala 43,1 °C. V místě vyústění vtoku dosahovala teplota maxima 96,7 °C.

Impulsní chlazení, pro vstřikovací cyklus 72,2 s. Zároveň byl zvýšený odběr energie z plastu o 25% oproti původnímu nastavení. Toho bylo dosaženo kombinací zvýšení průtoku media a prodloužení doby chlazení. Výstřik vykazoval teplotní rozdíly povrchu v jednotlivých místech výstřiku po proložení grafického obrazce (mimo místa umístění vtoků) s rozdílem teplot až 20,4 °C a průměrnou teplotou 40 °C. Přičemž nejvyšší teplota dosahovala 53,2 °C a minimální teplota dosahovala 32,8 °C. V místě vyústění vtoku dosahovala teplota maxima 72,6 °C.

Impulsní chlazení, pro vstřikovací cyklus 52,2 s. Zároveň byl zvýšený odběr energie z plastu o 25% oproti původnímu nastavení. Toho bylo dosaženo kombinací zvýšení průtoku media a prodloužení doby chlazení. Výstřik vykazoval teplotní rozdíly povrchu v jednotlivých místech výstřiku po proložení grafického obrazce (mimo místa umístění vtoků) s rozdílem teplot až 33,2 °C a průměrnou teplotou 48,7 °C. Přičemž nejvyšší teplota dosahovala 68,1 °C a minimální 34,9 °C. V místě vyústění vtoku dosahovala teplota maxima 94,6 °C.

Přehledné zobrazení naměřených teplot při kontinuální a impulsní temperaci v tab. 3.6.

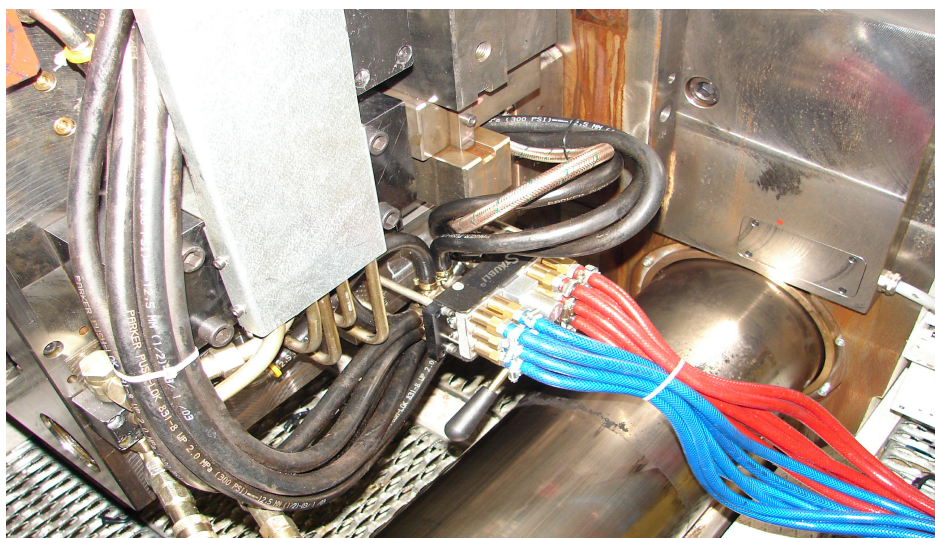
Tab. 3.6: Výsledky měřených teplot při kontinuální a impulsní temperaci.

Způsob temperace	Délka cyklu [s]	Teplotní rozdíl na výstřiku [°C]	Průměrná teplota na výstřiku [°C]	Maximální teplota na výstřiku [°C]	Minimální teplota na výstřiku [°C]	Teplota v místě vtoku [°C]
		Mimo místa vtoku				
Kontinuální	72,2	22,2	44,2	59,0	36,7	78,2
Kontinuální	52,2	35,3	55,0	75,9	40,6	104,1
Impulsní	72,2	22,9	44,4	59,5	36,6	79,4
Impulsní	52,2	29,8	52,9	73,0	43,1	96,7
Impulsní (zvýšen o 25%)	72,2	20,4	40,0	53,2	32,8	72,6
Impulsní (zvýšen o 25%)	52,2	33,2	48,7	68,1	34,9	94,6

4. Závěr

Firma Grupo Antolin Bohemia Turnov se řadu let zabývá zpracováním plastů, kde převážnou část výroby tvoří vstřikování plastů. Touto technologií vyrábějí mnoho dílů pro osobní automobily různých značek.

Než začalo vlastní experimentální měření s formou na nosič zadních dveří Škoda Octavia A5, byl zjištěn nedostatek, že průměry přívodních hadic od temperačního zařízení ke spojkám byly menší než u hadic od spojek k formě a zpět. Což, jak je uvedeno v diplomové práci v kapitole 2.5 a 2.6, má značný vliv na účinnost a efektivnost temperace formy. Toto špatné propojení je vyfotografované na obr. 4.1.



Obr. 4.1: Černé hadice spojují formu se spojkou a modré s červenými spojují spojku a temperační zařízení.

Tato hrubá chyba ovlivnila naměřené výsledky, které nedosáhly předpokládaných hodnot teplotních polí na povrchu výstřiku. I přes tento handicap bylo možno pozorovat nepatrné zlepšení při použití impulsní temperace.

Při kontinuální temperaci s časem cyklu 72,2 s a 52,2 s byly naměřeny stejné výsledky teplotního pole jako při impulsní temperaci, protože technik firmy Oni nastavil impulsní temperaci na stejné hodnoty jako kontinuální temperaci. Důvod byl jediný, nebylo třeba zrychlit vstřikovací cyklus, protože následující návaznost při kompletaci nosiče byla delší, než jeho výroba.

Při následné impulsní temperaci, při které bylo nastaveno zvýšení odvodu energie o 25% oproti nastávajícím hodnotám při vstřikovacím cyklu 72,2 s a 52,2 s,

došlo ke změně. Došlo k snížení průměrné teploty výstřiku o 4 °C až 5 °C a celkového teplotního rozdílu výstřiku o 2 °C až 3 °C.

V ideálním případě, kdyby nebylo hrubých nedostatků temperačního zařízení, mohlo by při impulsní temperaci dojít ještě k většímu snížení průměrné teploty a snížení celkového teplotního rozdílu. Ale také proto by došlo ke zlepšení kontinuální temperace, což by se mohlo vyrovnat impulsní temperaci.

Po celkovém prostudování dostupné literatury a výsledků při experimentálním měření lze učinit závěry:

1.) Impulsní temperace je dobrá věc a má dobrou myšlenku. Měla by být provedena na nových formách, kde se s touto temperací počítá již od počátku, a to z důvodů umístění teplotních čidel do každé temperovací zóny. Dynamika chlazení se při temperaci formy výrazně zrychlí. Tím výstřik dosáhne jednotnější teploty, lepších vlastností, vyšší kvality, menších pnutí a deformací.

2.) Impulsní temperace aplikovaná na formy, kde byla dříve používána kontinuální temperace není vhodná. Do forem by se musely umístit teplotní čidla a to pro každou temperovací zónu zvlášť, což je dosti nákladné a v některých případech i výrobně nemožné. Při umístění teplotních senzorů pouze na konec temperovacích okruhů se zvýší teplotní odezva na senzorech, která následně snižuje teplotní regulaci formy.

Můj osobní názor je takový, že impulsní temperaci lze použít jen na nové formy, kde se s touto temperací formy uvažují již během návrhu a konstrukce formy. Jinak je možné použití kombinace impulsního a kontinuálního temperování, kdy je forma rozdělena do teplotních zón. Každá temperovací zóna je kontinuálně temperována a řízena teplotním senzorem na konci temperačního kanálu. Tento princip temperace používá a vyrábí firma GWK.

5. Literatura

- /1/ Lenfeld, P.: Teplotní pole ve vstřikovacích formách [disertační práce], Tu v Liberci, 1997
- /2/ http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
- /3/ <http://www.sotallia.com>
- /4/ Šafařík, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů, cvičení [skriptum], VŠST Liberec, 1991
- /5/ Jantálík, J. -Šťáva, P.: Mechanika tekutin, [skriptum], VŠB-TU Ostrava, 2002
- /6/ Kříž, R. –Vávra, P.:Strojírenská příručka, Svazek 4, SCIENTA spol. s r.o., Praha 1994
- /7/ <http://fp.repsuk.plus.com/>
- /8/ <http://www.pulsecooling.com/>
- /9/ Zuban, R.: Technické materiály z firmy ONI, Wärme-,Kühl-und Temperiertechnik, Lindlar, 2006
- /10/ <http://plastics.bayer.com>
- /11/ <http://www.krauss-maffei.de/index.php>
- /12/ Půta, J.: Hodnocení efektivnosti temperace vstřikovacích forem [diplomová práce], TU V Liberci, 2005
- /13/ <http://www.omegaeng.cz/>
- /14/ <http://www.flirthermography.com/czech/software/SWF003.asp>
- /15/ <http://www.oni.de>
- /16/ <http://www.kubousek.cz/>

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL), nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 25.5.2007

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 25.5.2007

Signature: